

KÁTIA CILENE NELES DA SILVA

MONITORAMENTO DA SAÚDE HUMANA ATRAVÉS DE SENSORES:
ANÁLISE DE INCERTEZAS CONTEXTUAIS ATRAVÉS DA TEORIA DA
EVIDÊNCIA DE DEMPSTER-SHAFFER

São Paulo
2013

KÁTIA CILENE NELES DA SILVA

MONITORAMENTO DA SAÚDE HUMANA ATRAVÉS DE SENSORES:
ANÁLISE DE INCERTEZAS CONTEXTUAIS ATRAVÉS DA TEORIA DA
EVIDÊNCIA DE DEMPSTER-SHAFER

São Paulo
2013

KÁTIA CILENE NELES DA SILVA

MONITORAMENTO DA SAÚDE HUMANA ATRAVÉS DE SENSORES:
ANÁLISE DE INCERTEZAS CONTEXTUAIS ATRAVÉS DA TEORIA DA
EVIDÊNCIA DE DEMPSTER-SHAFFER

Tese apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção do
título de Doutora em Engenharia.

Área de Concentração: Computação e
Sistemas Digitais

Orientadora:
Profa. Dra. Graça Bressan.

São Paulo
2013

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, de Janeiro de 2013.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

FICHA CATALOGRÁFICA

Silva, Kátia Cilene Neles da

Monitoramento da saúde humana através de sensores: análise de incertezas contextuais através da teoria de Dempster-Shafer / K.C.N. da Silva. -- ed.rev. -- São Paulo, 2013.

141 p.

Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais.

1. Saúde (Monitoramento) 2. Sensores biomédicos 3. Informações contextuais incertas 4. Análise de incertezas contextuais I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais II. t.

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho a Deus e aos meus
pais Rosa Maria e Pedro Ferreira (in
memoriam).*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por Sua graça e misericórdia demonstradas todos os dias.

À minha orientadora, Profa. Dr. Graça Bressan, por ter acreditado em mim e ter me apoiado durante momentos em que eu mesmo não acreditei que poderia. Suas palavras incentivadoras me ajudaram a crer, sua confiança me fez chegar aonde eu cheguei.

À minha família que tem me apoiado e sustentado em orações em todos os momentos. Vocês são preciosos para mim.

Ao amado Williams Aguiar, seu apoio incondicional e companhia constante durante as madrugadas foram fundamentais para que eu continuasse no alvo e alcançasse o objetivo. A você minha eterna gratidão.

Aos queridos Maria de Lourdes, Vanessa Quattrucci e família e aos membros da Igreja Presbiteriana Jardim Bonfiglioli, família paulistana que me apoiou, incentivou e amou.

À Fucapi, que me apoiou na fase final dos estudos, e aos colegas de trabalho que me incentivaram a continuar. Um obrigada especial às professoras Marcela Pessoa e Claudete Kronbauer e ao professor William Malvezzi.

Aos membros das bancas de qualificação e avaliação pelas contribuições.

A todos que fizeram parte desse momento de minha vida e contribuíram de alguma forma.

RESUMO

SILVA, K. C. N. **Monitoramento da Saúde Humana através de Sensores: Análise de Incertezas Contextuais através da Teoria da Evidência de Dempster-Shafer**. 2013. 141p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2013.

O monitoramento remoto da saúde humana envolve basicamente o emprego da tecnologia de rede de sensores como meio de captura dos dados do paciente em observação e todo ambiente em que este se encontra. Esta tecnologia favorece o monitoramento remoto de pacientes com doenças cardíacas, com problemas respiratórios, com complicações pós-operatórias e ainda pessoas em tratamento residencial, dentre outros. Um importante elemento dos sistemas de monitoramento remoto da saúde é a sua capacidade de interagir com o meio no qual está inserido possibilitando-lhe, por exemplo, agir como provedor de informação e serviços relevantes para o usuário. Essa interação com o ambiente imputa a esse sistema características relacionadas com uma aplicação sensível ao contexto, pois esses sistemas reagem e se adaptam às mudanças nos ambientes, provendo-lhes assistência inteligente e proativa. Outro aspecto observado em sistemas de monitoramento remoto da saúde humana está relacionado às incertezas associadas à tecnologia empregada como meio para obtenção e tratamento dos dados e, aos dados que serão apresentados aos usuários especialistas - médicos. Entende-se que incertezas são elementos inevitáveis em qualquer aplicação ubíqua e sensível ao contexto, podendo ser geradas por dados incompletos ou imperfeitos. No âmbito do monitoramento da saúde humana, fatores como a influência mútua entre dados fisiológicos, comportamentais e ambientais também podem ser apontados como potenciais geradores de informação contextual incerta, além daqueles inerentes às aplicações ubíquas e sensíveis ao contexto. Nesta pesquisa, considera-se que cada sensor captura um tipo de dado e o envia para uma estação localizada na residência do paciente. O objetivo deste trabalho é apresentar um processo para a análise das incertezas contextuais presentes no monitoramento da saúde humana através de sensores. O processo empregado baseou-se na Teoria da Evidência de Dempster-Shafer e no Modelo de Fatores de Certeza. No processo denominado PRANINC, cada dado capturado pelos diferentes sensores é considerado uma evidência e o conjunto dessas evidências é considerado na formação das hipóteses. Três classes de incertezas contextuais foram especificadas: as incertezas provenientes da tecnologia empregada na transmissão dos dados capturados por sensores; as incertezas relacionadas aos próprios sensores, que estão sujeitos a erros e defeitos; e, as incertezas associadas à influência mútua entre as variáveis observadas. O método foi empregado a partir da realização de experimentos sobre arquivos com dados fisiológicos de pacientes reais, aos quais foram adicionados elementos comportamentais e ambientais. Como resultado, foi possível confirmar que o contexto influencia nos dados repassados pelo sistema de monitoramento, e que as incertezas contextuais podem influenciar na qualidade das informações fornecidas, devendo estas serem consideradas pelo especialista.

Palavras-chave: Monitoramento da saúde humana através de sensores. Análise de Incertezas contextuais. Teoria da Evidência de Dempster-Shafer.

ABSTRACT

SILVA, K. C. N. **Human Health Monitoring by Sensors: Analysis of Contextual Uncertainties through Dempster-Shafer Evidence Theory**. 2013. 141p. Thesis (Doctoral) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2013.

The remote monitoring of human health basically involves the use of sensor network technology as a means of capturing patient data and observation, in every environment. The sensor technology facilitates remote monitoring of patients with heart disease, respiratory problems, postoperative complications and even people in residential treatment. An important element of the health monitoring system is its ability to interact with the environment which allows, for example, act as a provider of relevant information and services to the user. The interaction with the environment provides to the system the characteristics related to a context-aware application, once this kind of system can react and adapt itself in face of environment's changes, through a proactive and intelligent assistance. Another significant aspect of health monitoring systems is related to the uncertainties associated with the technology used as a means for obtaining and processing the data sensed by sensors, and the data which will be presented to the expert's users - physicians. Uncertainties are inevitable elements in any ubiquitous and context-aware application and it can be generated by incomplete or imperfect data. In the human health monitoring by sensors factors, such as the mutual influence between physiological, behavioral and environmental data are mentioned as potential generators of uncertain contextual information. This research take into consideration that each sensor captures a data type and sends it to a station located in the patient's home. The objective of this paper is to present a process to analyze the contextual uncertainties present in the monitoring of human health via sensors. The method used was based on the Dempster-Shafer Evidence Theory and The Uncertainty Factor Model. The process named PRANINC, considers each data captured, by different sensors, as evidence and, all of the evidences are considered in the formation of hypotheses. Three contextual classes of uncertainties were specified: the uncertainties arising from the technology employed in transmitting the data captured by sensors, the uncertainties related to the actual sensors, which are subject to errors and defects, and the uncertainties associated with the mutual influence between the observed variables. The method was employed through conducting experiments on files with physiological data of real patients, to which, were added behavioral and environmental factors. As a result was possible to confirm that the context influences the data transferred by the monitoring system and that contextual uncertainties may influence the quality of the information which shall be considered by the specialist.

Keywords: Human Health Monitoring by Sensors; Analysis of Contextual Uncertainties; Dempster-Shafer Evidence Theory.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Monitoramento da saúde humana através de sensores	17
Figura 2: Metodologia aplicada na pesquisa	32
Figura 3: Contexto e informação contextual	37
Figura 4: <i>Wireless Body Area Network</i> para monitoramento da saúde	43
Figura 5: Leitura imprecisa de uma localização lida por sensores	51
Figura 6: Escala classificatória para incertezas.....	53
Figura 7: Medidas de incerteza associadas aos níveis de contexto	54
Figura 8: Conjunto de todas as hipóteses do conjunto $\Theta = \{\text{Idoso, Jovem, Criança}\}$	60
Figura 9: Intervalo de Fatores de Certeza.....	66
Figura 10: Monitoramento através de sensores	76
Figura 11: Parâmetros de incertezas para o Monitoramento da saúde do diabético e do hipertenso...79	
Figura 12: Classes contextuais no monitoramento da saúde humana através de sensores.....	80
Figura 13: Classes de incertezas no monitoramento da saúde do paciente diabético e hipertenso	81
Figura 14: PRANINC - Processo para análise de incertezas associadas ao monitoramento da saúde humana através de sensores.	87
Figura 15: PRANINC – Subprocesso – Associação de Massas e Fcs	87
Figura 16: PRANINC – Subprocesso – Atribuição de Massas	88
Figura 17: PRANINC – Subprocesso – Cálculo de Intervalo de Certeza	88
Figura 18: Escala de incerteza integrada ao intervalo numérico dos fatores de certeza.	91
Figura 19: Incertezas associadas a uma evidência	93
Figura 20: Kit de desenvolvimento Cardio Shimmer	101
Figura 21: Esquema do Shimmer Cardio	102
Figura 22: Dispositivo para aferir nível de glicose sanguínea	102
Figura 23: Aferidor de Pressão arterial.....	103
Figura 24: Kit Arduino.....	103
Figura 25: Sensor de temperatura LM35	104
Figura 26: ECG Paciente3 - antes de atividades e alimentação	109
Figura 27: ECG Paciente 3 – após atividades e alimentação	110
Figura 28: Níveis contextuais em sistemas sensíveis ao contexto.....	132
Figura 29: Parâmetros de incerteza para Sistema de monitoramento da saúde humana através de sensores	133
Figura 30: Rede Bayesiana resultante do experimento.....	136

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Propriedades típicas da informação de contexto	26
Quadro 2: Contribuições dos trabalhos relacionados à tese.....	31
Quadro 3: Comparação entre as sete principais ferramentas de simulação de Rede de Sensores.	40
Quadro 4: Requisitos na transmissão de sinais fisiológicos	47
Quadro 5: Especificação de parâmetros para monitoração	48
Quadro 6: Intervalos de Evidências Comuns.....	64
Quadro 7: Valores para os fatores de certezas e seus significados	67
Quadro 8: Valores de glicose plasmática (em mg/dl)	72
Quadro 9: Classificação pressórica dos pacientes	74
Quadro 10: Falhas causadas por agentes e por eventos internos e externos à rede	82
Quadro 11: Incertezas associadas a sensores.....	85
Quadro 12: Primeira evidencia (dado) obtida na leitura do arquivo E1paciente3.csv	89
Quadro 13: Cálculo de incertezas em sensores.....	95
Quadro 14: Fundamentos para a base de regras adotada nos experimentos.....	97
Quadro 15: Base de Regras empregada na pesquisa.....	99
Quadro 17: E1paciente3.csv - dados do primeiro experimento do Paciente3	107
Quadro 17: E2paciente3.csv - dados do segundo experimento do Paciente3.....	107
Quadro 18: E1paciente3 – resultado do primeiro experimento.....	107
Quadro 19: E2paciente3 – resultado do segundo experimento.....	108
Quadro 21: E4paciente3.csv - dados do segundo experimento do Paciente3.....	108
Quadro 21: E3paciente3.csv - dados do segundo experimento do Paciente3.....	108
Quadro 22: Variação do resultado dos experimentos com os 5 pacientes	111
Quadro 23: Variância entre Bel e Pls nos experimentos.....	111
Quadro 24: Resultados dos novos experimentos 5 e 6.....	112
Quadro 25: Cálculo de variância dos experimentos 5 e 6.....	113
Quadro 26: Sensores utilizados no experimento.....	134

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AVD	Atividades da Vida Diária
AVC	Acidente Vascular Cerebral
BAN	Body Area Network
BSN	Body Sensor Network
DAG	Gráfico com arcos direcionados
DM	Diabetes Mellitus
DS	Dempster-Shafer
ECG	Eletrocardiograma em Inglês
ECC	Eletroencefalograma
EKG	Eletrocardiograma em Alemão
ER	Entidade Relacionamento
FC	Fator de Certeza
GPS	Global Positioning System
GPRS	General Packet Radio Services
HAS	Hipertensão Arterial Sistêmica
IC	Intervalo de Confiança ou Intervalo de Crença
ISO	International Organization for Standardization
ITS	Technology Specific Specification
MAPA	Monitorização Ambulatorial da Pressão Arterial
MFC	Modelo de Fatores de Certeza
OMG	Object Management Group
ORM	Object-Role Modelling
OWL	Web Ontology Language
PA	Pressão Arterial
PRANINC	Processo para Análise de Incertezas
RES	Registro Eletrônico de Saúde
RB	Redes Bayesianas
RFID	Radio-frequency Identification
RSSF	Rede de Sensores Sem Fio.
RDF	Resource Description Framework
SBC	Sistemas Baseados em Conhecimento
SPO2	Saturação do oxigênio no sangue
TDS	Teoria de Dempster-Shafer
TC	Temperatura Corporal
WBSN	Wireless Body Sensor Networks
WLAN	Wireless Local Area Network
WSDL	Web Service Definition Language
WWBSN	Wearable Wireless Body Sensor Network

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1 Motivação	16
1.2 Objetivos	18
1.3 Questões de pesquisa	18
1.4 Trabalhos relacionados	20
1.5 Metodologia.....	31
1.6 Comentários sobre o capítulo	34
2. ASPECTOS DO MONITORAMENTO DA SAÚDE HUMANA ATRAVÉS DO EMPREGO DA TECNOLOGIA DE REDE DE SENSORES.....	35
2.1 Sensibilidade ao Contexto	36
2.2 Monitoramento através de redes de sensores.....	38
a) <i>Simulação de rede de sensores</i>	39
b) <i>Testbeds</i>	41
2.3 Monitoramento da saúde humana através de rede de sensores	42
2.3.1 <i>Requisitos em rede de sensores para o monitoramento da saúde humana</i>	46
2.3.2 <i>Sensores empregados no monitoramento do paciente hipertenso e diabético</i>	48
a) Glicosímetro.....	48
b) Sensor de Pressão Arterial	48
c) Sensor de Movimento - Acelerômetro	49
d) Sensor de temperatura ambiente	49
2.4 Incertezas no monitoramento da saúde humana baseada em sensores.....	49
2.4.1 <i>Classificação de incertezas</i>	52
2.4.2 <i>Características de sensores que podem indicar incertezas</i>	54
2.5 Tratamento das informações incertas.....	55
2.6 A Teoria de Dempster-Shafer	58
2.7 Modelo de Fatores de Certeza	64
2.8 Comentários sobre o capítulo	67

3. INCERTEZAS CONTEXTUAIS NO MONITORAMENTO DO INDIVÍDUO DIABÉTICO E HIPERTENSO.	69
3.1 A saúde do paciente diabético e hipertenso.	70
3.2 Monitoramento de pacientes diabéticos e hipertensos através de rede de sensores.	75
3.3 Incertezas contextuais presentes no monitoramento do paciente diabético e hipertenso através de sensores.....	77
3.3.1 Incertezas associadas na interação entre as variáveis.....	81
3.3.2 Incertezas associadas à transmissão/comunicação dos dados.....	81
3.3.3 Incertezas associadas ao tipo de sensores.....	83
3.4 Comentários sobre o capítulo	85
4. PRANINC – PROCESSO PARA ANÁLISE DE INCERTEZAS CONTEXTUAIS NO MONITORAMENTO DO INDIVÍDUO DIABÉTICO E HIPERTENSO	86
4.1 PRANINC - Processo para análise de incertezas no monitoramento da saúde através de sensores.....	86
4.1.1 Cenário de evidência inicial	89
4.1.2 Definição de theta	89
4.1.3 Formação do quadro de discernimento.....	90
4.1.4 Subprocesso Associação de Massas e FCs	90
4.1.5 Subprocesso Atribuição de massa	90
4.1.6 Combinar massas	92
4.1.7 Cálculo do intervalo de certeza	92
4.1.8 Associar incertezas	92
4.2 Modelagem do conhecimento especialista	96
4.3 Estratégias para a validação do PRANINC	100
4.4 EXPERIMENTOS COMPUTACIONAIS	104
4.5 Análise dos resultados das experimentações computacionais.....	106
4.5.1 Resultados dos Experimentos	110
4.5.2 Decisões e evolução dos algoritmos.....	114
4.6 Comentários sobre o capítulo.	114
5. RESPOSTAS ÀS QUESTÕES DE PESQUISA	116

6. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	118
REFERÊNCIAS	120
Conclusões	140

1. INTRODUÇÃO

A computação ubíqua e sensível ao contexto possibilita diversas inovações na área da saúde, especialmente na relação entre médico e paciente, na rotina de hospitais, pronto socorros e centros de tratamento da saúde humana, sendo o tratamento e o monitoramento remoto de pacientes exemplos da aplicação da tecnologia nessa área.

O monitoramento remoto da saúde humana envolve basicamente o emprego da tecnologia de rede de sensores como meio de captura dos dados do paciente em observação e todo ambiente em que este se encontra. Esta tecnologia favorece o monitoramento remoto de pacientes com doenças cardíacas, com problemas respiratórios, com complicações pós-operatórias e ainda pessoas em tratamento residencial dentre outros.

Um importante elemento de um sistema de monitoramento remoto da saúde é a sua capacidade de interagir com o meio no qual está inserido, possibilitando-lhe, por exemplo, agir como provedor de informação e serviços relevantes para o usuário. Essa interação com o ambiente imputa a esses sistemas características relacionadas com aplicações sensíveis ao contexto, pois esses sistemas reagem e se adaptam às mudanças nos ambientes provendo-lhes assistência inteligente e proativa.

Outro aspecto observado em sistemas de monitoramento remoto da saúde humana está relacionado às incertezas associadas à tecnologia empregada como meio para obtenção e tratamento dos dados e aos dados que serão apresentados aos usuários especialistas - médicos.

Incetezas são elementos inevitáveis em qualquer aplicação ubíqua e sensível ao contexto, podendo ser geradas por dados incompletos ou imperfeitos.

No monitoramento através de sensores, é possível associar aos dados capturados níveis de incerteza, pois sensores podem quebrar ou ainda relatar dados erroneamente quando diante de situações para as quais não foram projetados (CLEAR, 2007). Assim, os dados imprecisos podem resultar em informações não verdadeiras para o usuário final ou ainda em um comportamento incorreto do sistema.

Diversas pesquisas têm sido realizadas sobre os tipos de incertezas que estão associadas aos sistemas sensíveis ao contexto [(BETTINI, 2010), (CHUNG,

2009), (CLEAR, 2007), (PADOVITZ, 2006), (TROUNG, 2005), (HENRICKSEN, 2004)].

Na área da saúde, é necessário também considerar as incertezas inerentes ao contexto, as decorrentes da interação entre as variáveis pertencentes ao contexto e as incertezas relacionadas à tecnologia de sensores.

Conhecer os tipos de incertezas presentes no monitoramento da saúde humana através de sensores, a sua origem, e a forma como estas podem ser apresentadas ao usuário, possibilitam a minimização do impacto que estas podem causar no diagnóstico médico, e conhecê-las possibilita melhor gerenciamento do cenário envolvido.

Assim, esta tese apresenta estudos sobre os tipos de incertezas associadas ao monitoramento pontual, não contínuo, da saúde humana através de sensores, descrevendo um processo para identificar suas possíveis influências nos resultados exibidos para os especialistas durante tal ação.

As questões norteadoras desta pesquisa são:

- Quais informações contextuais são caracterizadas como incertas no monitoramento, através de sensores, da saúde do paciente diabético e hipertenso?
- De que maneira a teoria da evidência de Dempster-Shafer e o modelo de Fatores de Certeza podem ser empregados na análise de incertezas associadas aos sistemas de monitoramento da saúde humana através de sensores?
- Qual a diferença entre o diagnóstico médico que não considera os aspectos tecnológicos do monitoramento da saúde humana através de sensores e aquele que o considera?

Desta forma, o problema destacado nesta tese diz respeito à necessidade de representar a influência das informações incertas nos resultados apresentados pelo sistema de monitoramento não contínuo da saúde humana através de sensores para o usuário especialista.

1.1 Motivação

Na Figura 1 é representado um modelo genérico para um sistema de monitoramento remoto da saúde humana, onde paciente, sensores, equipe médica e

sistemas computacionais são elementos envolvidos em atividades tais como coleta de dados, gerenciamento e fusão de dados.

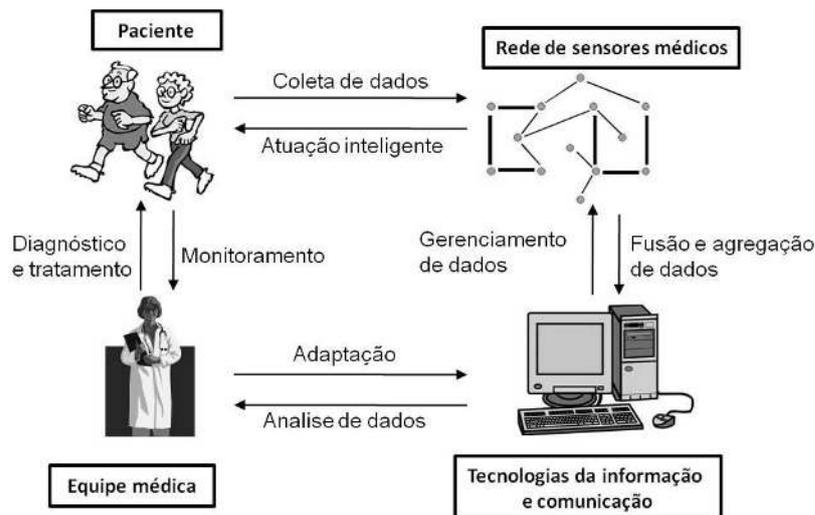


Figura 1: Monitoramento da saúde humana através de sensores (Adaptado de Lee, 2008)

O paciente em tratamento interage com o sistema através de dispositivos dotados de capacidade sensorial que coletam seus dados e do ambiente; o sistema computacional aplica técnicas sofisticadas para o tratamento dos dados, obtidos pelos sensores, e os apresenta através de uma interface de usuário, para que profissionais de saúde, de posse dessas informações, possam fornecer direcionamentos para o diagnóstico e o tratamento do paciente seja em caso de emergências ou não.

O foco deste trabalho está centrado em um cenário que envolve o monitoramento do paciente em ambiente domiciliar, com o uso de sensores não invasivos. A rede de sensores para este tipo de cenário inclui sensores que coletam dados fisiológicos, ambientais e comportamentais. Os dados fisiológicos são pressão arterial e nível de glicose no sangue, o dado ambiental é a temperatura externa, já o dado comportamental é o movimento realizado pelo paciente.

Neste trabalho define-se informação incerta como toda informação desconhecida, ambígua, imprecisa ou errônea presente em sistemas sensíveis ao contexto, cuja origem pode estar no relacionamento entre os dados obtidos por sensores e a influência que um exerce sobre o outro, nos parâmetros de incerteza dos próprios sensores e nos aspectos de incertezas associados aos mecanismos empregados na comunicação e transmissão dos dados.

Quando não há qualquer informação válida sobre a leitura feita pelos sensores, a informação é classificada como *desconhecida*; quando diferentes sensores fornecem variados valores sobre um mesmo item, esta informação é considerada *ambígua*; a informação é *imprecisa* quando não há exatidão ou certeza acerca dos dados reportados; finalmente, quando existe divergência entre o estado atual do sensor e o que é reportado para o sistema, a informação é considerada *errônea*.

As informações incertas estão presentes nos ambientes de monitoramento da saúde através de sensores, não sendo possível eliminá-las. Por isso, é importante que se saiba lidar com elas e reconhecê-las em sua ocorrência.

1.2 Objetivos

O objetivo deste trabalho é apresentar o processo PRANINC, para emprego na análise de informações contextuais incertas associadas ao monitoramento pontual da saúde humana através de sensores.

A fim de estabelecer etapas coerentes ao trabalho de pesquisa, objetivos secundários foram estabelecidos, conforme listados a seguir:

- a) Identificar os tipos de incertezas associados ao monitoramento da saúde do paciente diabético e hipertenso.
- b) Levantar e analisar as informações contextuais incertas presentes no monitoramento da saúde humana através de sensores.
- c) Analisar a influência das informações contextuais incertas no monitoramento remoto de paciente através do emprego do processo PRANINC.

1.3 Questões de pesquisa

As seguintes questões irão conduzir a pesquisa para o desenvolvimento da tese:

1. *Quais informações contextuais são caracterizadas como incertas no monitoramento, através de sensores, da saúde do paciente diabético e hipertenso?*

Esta questão diz respeito à identificação e especificação de informações contextuais incertas em sistemas de monitoramento da saúde humana através de sensores. Tal identificação foi realizada através do emprego de dados reais de pacientes diabéticos e hipertensos em ambiente de simulação.

2. *Por que e de que maneira a teoria da evidência de Dempster-Shafer e o modelo de Fatores Humanos podem ser empregados na análise das incertezas associadas aos sistemas de monitoramento da saúde humana através de sensores?*

O emprego da Teoria de Dempster-Shafer (TDS) foi considerado nessa investigação, por ser, esta, importante teoria empregada na análise de diagnósticos médicos. No emprego da TDS os sintomas relatados aos médicos são vistos como evidências e os possíveis diagnósticos como as hipóteses a serem consideradas [SILVA 2008a; SILVA 2008b; SILVA, 2011].

Outra razão para a sua aplicação, diz respeito ao emprego dessa teoria no estudo do comportamento das redes de sensores (NAKAMURA, 2007; VILLANUEVA, 2009; BITENCORT JUNIOR, 2008).

Neste trabalho a aplicação de TDS será feita a partir da observação dos dados fisiológicos de pacientes monitorados e dos dados contextuais, que pervadem o ambiente em que estes se encontram; tais dados funcionarão como evidências, e a estas serão adicionadas as respectivas incertezas; tal decisão possibilita a análise do impacto das informações contextuais incertas sobre o resultado obtido.

Já o emprego do Modelo de Fatores de Certeza (MFC) justifica-se por ser o cenário do monitoramento da saúde humana um ambiente com conhecimento especialista e baseado em regras e este modelo ter aplicação em cenários como esse. Neste trabalho, o MFC possibilita a inserção de fatores de certeza como pesos para cada regra especialista e para cada evidência observada no cenário, auxiliando no cálculo de massas de possibilidades. Mais detalhes sobre seu funcionamento são fornecidos no Capítulo 4 da tese.

3. *Qual a diferença entre o diagnóstico médico que não considera os aspectos tecnológicos do monitoramento da saúde humana através de sensores e aquele que os considera?*

O diagnóstico médico possui elementos de incertezas intrínsecos a essa área. E, ao se associar as incertezas inerentes à tecnologia empregada neste tipo de monitoramento é importante que o diagnóstico médico também as considere.

As respostas a estas questões de pesquisa devem originar as contribuições originais deste trabalho e por isso, serão focadas durante toda a realização da mesma.

1.4 Trabalhos relacionados

A principal motivação na representação da informação contextual incerta é a natureza complexa das aplicações ubíquas e sensíveis ao contexto, a combinação não satisfatória dos tipos de atributos inerentes a essas aplicações, a ambiguidade entre duas ou mais situações que impedem o raciocínio simples e direto sobre o contexto correto e a imprecisão e falta de confiabilidade de muitos tipos de sensores.

Além disso, a representação do contexto incerto em um modelo permite a verificação da consistência das informações e assegura que as técnicas de raciocínio sejam efetivamente desempenhadas sobre tal contexto, a modelagem do sistema possibilita ampliar o conhecimento acerca do sistema e fornece apoio às decisões de projeto.

Neste sentido, importantes trabalhos relacionados com informações contextuais incertas são relatados.

No trabalho apresentado por Tang (2012) um arcabouço para diagnóstico de falhas com evidências sobrepostas denominado DigOver é descrito. Nesta estrutura um conjunto de componentes defeituosos é identificado com base no compartilhamento, feito pelo usuário final, sobre os sintomas negativos observados. A partir da identificação dos componentes defeituosos, cada um é avaliado e tem sua probabilidade de falha quantificada.

Tang (2012) lista diversas falhas, tais como problemas de hardware, software e configuração deficitária da rede. São destacados desafios no diagnóstico de falhas tais como: escalabilidade, inacessibilidade e incertezas, entre outras.

No caso das incertezas, estas estão associadas com as dificuldades em se monitorar um grande número de redes. O raciocínio sobre as falhas, neste caso, depende de informações incompletas ou imprecisas que resultam num diagnóstico falho.

Nesse artigo, um relato sobre o emprego do raciocínio plausível em sistemas de diagnóstico de falhas é destacado, o qual é realizado através da avaliação de incertezas e probabilidades destas ocorrerem.

Embora as investigações de Tang (2012) tenham indicado aspectos relacionados a incertezas em redes de computadores não deixa claro se estas podem ser consideradas também em redes de sensores. Nesta tese são indicadas especificações próprias das incertezas associadas às redes de sensores.

Além disso, diferentemente do trabalho de Tang (2012), esta pesquisa também considera o conhecimento especialista quanto à avaliação das incertezas a partir do emprego do raciocínio plausível.

Outro trabalho relacionado com incertezas é descrito por Rejendra (2011) em que abordagem de raciocínio evidencial para apoio à tomada de decisão diante de cenários incertos é apresentada. Nessa abordagem é usada uma estrutura baseada no Teorema de Bayes e a Teoria de Dempster-Shafer para modelar o problema de decisão.

Os autores buscam ilustrar como modelos de decisão específica podem ser desenvolvidos a partir dos Diagramas de Evidências Básicos (DEB), concebidos a partir das estruturas modeladoras de decisão. Nos DEB, os autores associam a cada variável listada um item de evidência, ressaltando que muitas evidências não são fortes o suficiente para dar conclusões sobre as hipóteses, e indicam que tal conhecimento pode ser modelado através de outras abordagens.

A partir da criação do diagrama, questionamentos sobre o que se sabe a respeito das variáveis são considerados, uma vez que estas possuem apenas evidências que lhes foram associadas. Neste sentido, os autores consideram a propagação do conhecimento parcial, que indica incerteza sobre as variáveis envolvidas através de um relacionamento entre as variáveis, como forma a combinar os conhecimentos a partir das evidências.

O aspecto de incertezas é modelado através de propagação no diagrama evidencial desenvolvido, para tanto são incluídos conceitos como *Vacuous Extension* e *Marginalization*, na construção de uma árvore de Markov.

No trabalho descrito nesta tese, ao invés de se empregar os conceitos Markovianos foram empregados conceitos da teoria de Dempster-Shafer e de Fatores de certeza como auxiliares no processo de tomada de decisão em situações onde há a presença de incertezas, como é o caso do cenário do diagnóstico da saúde humana.

Com o emprego de fatores de certeza sobre uma base de regras foi possível a este trabalho estender os resultados obtidos em Rejendra (2011) quanto ao emprego da teoria de Dempster Shafer, pois as decisões médicas são melhor subsidiadas se o conhecimento especialista é considerado.

Mohanavalli (2011) também relata uma investigação no contexto do monitoramento e medição dos parâmetros fisiológicos do corpo humano através de

redes de sensores, destacando que os sensores, para medir os parâmetros fisiológicos, possuem muitas limitações em termos de energia, capacidade computacional, memória e capacidade de comunicação.

Nessa investigação é apresentada uma arquitetura para assegurar o monitoramento remoto e contínuo de pacientes considerando a existência de restrições inerentes ao hardware de sensores. Segundo os autores, essa arquitetura poderá permitir que pacientes com doenças crônicas e ou em cuidados no pós-operatório sejam monitorados remotamente no conforto de seus lares. Aspectos relacionados à segurança e comunicação entre sensores também são discutidos.

Os dados obtidos ao longo de um período de tempo no ambiente natural do paciente podem fornecer aos médicos melhor visão sobre a condição do paciente e esses dados auxiliam na análise e decisão quanto ao melhor diagnóstico e tratamento. Além disso, as redes de sensores sem fio podem ser aplicadas no cuidado com idosos, fornecendo assistência em seus lares.

Os dados manipulados entre sensores em uma rede de sensores sem fio são estritamente particulares e confidenciais de maneira a proteger a privacidade do paciente.

Considera-se que os dados enviados por sensores, através de transmissão sem fio ou da Internet, estão sujeitos a ataques como escutas, envio de valores falsos ou ainda repetição de valores já fornecidos, desta forma é um requisito, neste tipo de ambiente, que os dados não apenas não sejam adulterados no trânsito entre a obtenção dos dados pelos sensores até a visualização pelo médico, mas também que os dados sejam precisos.

A arquitetura pode monitorar uma ou mais pessoas remotamente e continuamente. Os pacientes portam uma unidade de aquisição de dados vestível, para coletar e agregar os dados obtidos por sensores. Uma vez que os dados são coletados e agregados, podem ser enviados para uma estação básica na residência usando comunicação sem fio. A estação base pode consolidar todos os dados e transmiti-los para uma estação de monitoramento no hospital para o processamento e acompanhamento pelos médicos. Desta forma, requisitos como energia, recursos e alcance sem fio dos sensores precisam ser suficientes apenas para a transmissão dentro dos limites da residência.

A relação entre esses trabalhos está em que o artigo de Mohanavalli (2011) apresenta importantes aspectos relacionados ao monitoramento de pacientes

através de sensores, com a melhoria no processo de tratamento da saúde proporcionado pelo emprego de tecnologia. A estrutura computacional apresentada permite melhor compreensão do funcionamento de um sistema de monitoramento remoto através de redes de sensores.

O trabalho ora apresentado complementa o trabalho de Mohanavalli (2011) no sentido de incluir os aspectos contextuais e pervasivos pertinentes ao ambiente em que a estrutura computacional estará inserida, considerando inclusive informações que se caracterizem como incertas.

Bettini (2010) também relaciona-se com essa pesquisa, indicando que para a comunidade de desenvolvedores de aplicações pervasivas e sensíveis ao contexto o desenvolvimento desse tipo de aplicação deve ser apoiada por técnicas de modelagem de informação contextual e de raciocínio sobre contexto adequadas, pois essas técnicas reduzem a complexidade das aplicações sensíveis ao contexto e melhoram sua manutenibilidade e evolução.

Os autores apresentam o estado da arte dos modelos destinados à modelagem contextual destacando-se os seguintes requisitos.

- Heterogeneidade e mobilidade – modelos para informação contextual lidam com uma grande variedade de fontes de informação de contexto que diferem na sua taxa de aquisição e nível semântico, logo eles precisam expressar essas diferenças e, o sistema gerenciador de contexto deve fornecer gerenciamento adequado a cada tipo de informação.
- Imperfeição – devido à natureza dinâmica e heterogênea a informação contextual pode ter a qualidade variável e até mesmo informar dados incorretos. Por exemplo, muitos sensores podem ser imprecisos ou serem alterados ao longo do tempo o que aumenta a imprecisão. Exemplo disso é a tecnologia de GPS que pode apresentar diferenças nas medidas.
- Relacionamentos e dependências – os vários relacionamentos existentes entre os tipos de informações contextuais devem ser capturados para assegurar o correto comportamento da aplicação. Uma relação é de dependência quando entidades ou fatos contextuais dependem de outras entidades, por exemplo, a largura da banda de rede pode afetar os valores da energia restante.

- Atualidade – as aplicações sensíveis ao contexto precisam ter acesso aos dados antigos para fazer prognósticos de dados futuros mantendo um histórico.
- Raciocínio – as técnicas de modelagem devem ser capazes de suportar tanto a verificação de consistência quanto as técnicas de raciocínio sobre contexto.
- Usabilidade e modelagem formal – os modelos devem facilitar aos designers a tradução dos conceitos do mundo real para o desenvolvimento.
- Provisão eficiente de contexto – necessidade de acesso eficiente à informação contextual. Para isso acontecer é necessário que as técnicas de modelagem selecionem objetos e atributos relevantes.

Quanto à informação contextual incerta, os modelos devem capturar e dar sentido aos dados imprecisos ou conflitantes do mundo físico.

Os modelos de incertezas apresentados no artigo são:

- Serviços de contexto, que possibilitam que a informação seja associada com métricas de qualidade como confiabilidade e *freshness*;
- Redes Bayesianas, que são aplicadas na aquisição de informação sobre localização;
- Associação de valores aos contextos, como as medidas de incertezas que capturam a probabilidade de um valor refletir a realidade;
- A inclusão de qualidade de informação, como um tipo de meta modelo contextual, incluindo seis atributos de qualidade: cobertura, resolução, precisão, repetitividade, frequência e pontualidade;
- Apoio à qualidade, através da associação entre objetos que são anotados com um número de parâmetros de qualidade que capturam as dimensões de qualidade consideradas relevantes para a associação;
- Mecanismos para cobertura de incerteza, originada por informação ambígua.

O artigo apresenta uma leitura sobre o estado da arte das técnicas de raciocínio e modelagem sobre contexto, destacando que a informação contextual é provida por fontes que possuem diferentes níveis de qualidade na informação produzida.

A relação entre o conteúdo desse artigo e esta pesquisa, dá-se no sentido de que a informação contextual pode ter qualidade variável e apresentar incertezas, além disso, destaca que as relações entre as entidades ou fatos contextuais presentes no cenário monitorado podem ser de dependência mútua. Elementos estes também considerados e tratados. Como complemento a esse trabalho esta tese faz o mapeamento de três classes de informações incertas que podem ser consideradas no monitoramento da saúde humana por intermédio de sensores.

Henricksen (2004) destaca o problema da informação contextual imperfeita e suas causas propondo uma nova abordagem para modelar informação imprecisa e imperfeita.

Para os autores, as aplicações sensíveis ao contexto usam informação tais como localização, tarefas e preferências do usuário para adaptar seu comportamento em respostas às mudanças operacionais do ambiente e aos requisitos do usuário, sendo que tais informações são obtidas através de sensores e pessoas.

Assim, são caracterizados vários tipos de fontes de informação contextual imperfeita, apresentado um conjunto de novos construtores para modelar o contexto de maneira a acomodar os tipos propostos. Considera-se que os aspectos atributo e propriedade podem ser descritos através de peças atômicas de informação como localização ou atividade de um usuário ou a capacidade computacional de um dispositivo.

Neste sentido uma propriedade pode ser:

- a) *Desconhecida* – quando nenhuma informação sobre a propriedade é válida ou conhecida. Geralmente associados a problemas de conectividade dos sensores.
- b) *Ambígua* – quando existem relatos diferentes e válidos sobre uma propriedade. Geralmente derivada de maneira independente de muitas origens.
- c) *Imprecisa* – quando o estado relatado é apenas uma aproximação do verdadeiro estado; comum em informações derivadas de sensores.
- d) *Errônea* – quando há uma incorreção entre o estado atual e o relatado. Geralmente associadas ao erro humano.

Quatro classes de informação contextual também são apresentadas no Quadro 1.

Tipo	Fonte	Fonte de imprecisão
Obtida	Sensores físicos e lógicos	Erros e falhas em sensores, redes desconectadas, atrasos devido distribuição e interpretação.
Estática	Usuário ou administrador	Erro humano
De perfil	Usuário – diretamente ou através das aplicações	Omissão do usuário para atualizar em resposta as mudanças
Derivada	Outro contexto de informação	Entradas imperfeitas e uso de mecanismo de derivação simples.

Quadro 1: Propriedades típicas da informação de contexto
 Fonte: (Henricksen, 2004) com adaptações.

A abordagem proposta na modelagem de contexto é baseada em ORM - *Object Role Modeling* e o projeto dessa abordagem comporta uma variedade de tarefas ao longo do ciclo de vida do software.

Esse modelo serve para simplificar a tarefa de desenvolver aplicações sensíveis ao contexto uma vez que, segundo os autores, as abstrações de modelagem e programação podem ser integradas. O construtor básico em ORM é o fato. Fatos são representados por caixas, nas quais são ligadas linhas para um objeto que participa do papel.

O trabalho de Henricksen (2004) acrescenta relevantes aspectos na modelagem de contextos incertos uma vez que a notação gráfica auxilia nas tarefas de identificação e especificação de requisitos contextuais de uma aplicação. Entretanto, no trabalho não são apresentados os aspectos formais que poderiam favorecer o rastreamento dos fatos contextuais e seus relacionamentos.

Assim, o estudo apresentado nesse artigo auxilia na caracterização dos tipos de incertezas presentes no monitoramento da saúde do paciente hipertenso e diabético, uma vez que indica quais propriedades devem ser observadas, além disso, fornece subsídios iniciais para a extensão do estudo para a área da saúde, que é alcançado a partir da modelagem de classes contextuais e classes de informações contextuais incertas.

Truong et. al. (2005) propõem um modelo unificado baseado em uma abordagem que integra ontologias e redes bayesianas para apoiar a representação e raciocínio sobre incertezas em sistemas sensíveis ao contexto.

Os autores destacam a incerteza como um fator inevitável em sistemas sensíveis ao contexto e indicam como principais causas, a imperfeição e a incompletude dos dados obtidos por sensores os quais influenciam na falta de precisão das informações apresentadas no contexto de alto nível, como por

exemplo, na dificuldade de se afirmar as atividades de uma pessoa baseado apenas em sua localização dentro de uma casa.

Ainda, os autores afirmam que os mecanismos de raciocínio baseados em regras e lógica não suportam o raciocínio sobre incertezas o que justificaria a necessidade dos sistemas sensíveis ao contexto serem capazes de representar e raciocinar sobre incertezas.

Na apresentação do modelo é usado o cenário de uma casa inteligente no qual um sistema computacional controla de maneira proativa as condições ambientais para reduzir o consumo de recursos como o consumo de energia.

O modelo unificado proposto consiste de duas partes: o esquema relacional, que representa a estrutura e organização das informações em forma de classe, relações binárias, cadeias de relacionamentos e propriedades e, o modelo probabilístico que denota o relacionamento de dependência probabilística entre propriedades de classes.

A partir do modelo proposto, os autores especificaram a ontologia que captura o conhecimento sobre o domínio e é capaz de capturar as características da informação contextual.

Para os autores, a maior característica nesta abordagem diz respeito à definição da informação probabilística em nível de conceitos, especificando não apenas incertezas dos valores dos conceitos, mas também o relacionamento probabilístico entre os conceitos. Outro aspecto diz respeito à ontologia contextual orientada a domínio que captura tanto o conhecimento lógico quanto relacional e probabilístico.

Um dos principais aspectos observados nesse trabalho diz respeito à dificuldade que o raciocínio baseado em regras e lógica tem sobre as incertezas inerentes a sistemas sensíveis ao contexto, necessitando para isso empregar o raciocínio probabilístico a partir do conhecimento especialista.

Neste sentido, a definição da informação probabilística em níveis conceituais com a especificação do tipo de incerteza e sua valoração, apresentada nesse artigo, possibilita-nos relacionar a necessidade de, no estudo de incertezas no monitoramento da saúde humana através de sensores, também caracterizarmos tais elementos.

O avanço que o trabalho descrito nesta tese traz sobre esse trabalho dá-se exatamente em função da caracterização e especificação de classes de incertezas

relacionadas ao monitoramento da saúde humana através de sensores para serem empregadas em um processo que considera elementos probabilísticos e de conhecimento especialista.

No trabalho apresentado por Mal-Sarkar et. al. (2009), a incerteza é um aspecto endêmico em rede de sensores sem fio. Nestas há uma alta probabilidade de ruídos como características associadas aos sensores. Na abordagem apresentada neste artigo a incerteza é gerenciada através do raciocínio sobre a informação inconsistente, incompleta ou fragmentada.

Enquanto as incertezas, em geral, afetam a habilidade de um sistema ter desempenho preciso, em redes de sensores sem fio há consequências adicionais e, no caso da pesquisa apresentada neste documento, ressalta-se ainda que no monitoramento da saúde essas consequências tendam a aumentar uma vez que se trata de um cenário de risco.

Para Mal-Sarkar et. al. (2009), os atuais protocolos e algoritmos para redes sem fio tradicionais são inadequados para lidar com incertezas. Tipos de incertezas são originados a partir de restrição ontológica, quando existe ausência de uma completa especificação dos tipos de entidades no roteamento; e a restrição epistêmica que diz respeito à preocupação sobre se estas entidades são conhecidas aos esquemas subjetivos dos sensores, dentro de uma determinada resolução espaço-temporal.

A incerteza epistêmica tem origem na representação inadequada do conhecimento. Sendo que este, frequentemente, pode se incompleto, impreciso, fragmentado ou ambíguo.

A caracterização de incertezas em rede de sensores sem fio envolve a observação de aspectos como ruídos, interferências e sinal, modelo utilizado, parâmetros empregados no modelo e a representação das incertezas.

A incerteza ontológica ocorre quando um dado que necessita ser obtido através de sensores apresenta multiplicidade em função de espaço, tempo e escala. Neste caso, abordagens como o reducionismo, a agregação de dados ou as estimativas da distribuição da frequência espaço-temporal, são indicadas para o tratamento das incertezas. Além disso, a incerteza ontológica pode se abordada através do monitoramento de características gerais e parâmetros para identificar as condições como normal ou não.

Assim, Mal-Sakar et. al. (2009), ressaltam que no cenário de saúde, a incerteza possui outros níveis com necessidade de serem gerenciados, uma vez que se trata de um cenário de risco. Os autores destacam, também, que os algoritmos existentes não se adequam completamente a esse novo contexto, requerendo novas abordagens para tratá-los; tal estudo fortalece a hipótese sobre a necessidade de se considerar todos os elementos presentes no contexto do monitoramento.

Assim, como incremento ao trabalho de Mal-Sakar et. al. (2009) esta tese descreve uma abordagem que leva em consideração o conhecimento especialista através de fatores de certeza sobre uma base de regras. Tal base é considerada no processo para análise de incertezas contextuais.

Huang et. al. (2009) também relata desafios no desenvolvimento de redes de sensores sem fio para o corpo humano (em inglês *Wireless Body Sensor Network - WBANs*) e fornecem uma visão geral dos recentes avanços tecnológicos que procuram lidar com tais desafios. Segundo estes autores, esse tipo de rede são destinadas para a comunicação entre nós sensores que operam dentro ou fora do corpo humano, com o objetivo de monitorar os parâmetros vitais e os movimentos do paciente.

As redes de sensores aplicadas ao corpo humano permitem aos seus usuários um estilo de vida assistida, acompanhando-os tanto no esporte quanto no entretenimento.

Um sensor usado nesse tipo de rede deve assegurar a detecção precisa dos sinais do corpo, realizar o processamento dos sinais de baixo nível e transmitir sem fio os dados processados para uma unidade de processamento local.

Os autores listam como desafios para o monitoramento bem sucedido dos nós sensores:

- a) O tamanho e o peso dos nós sensores, que devem ser adaptados ao corpo humano;
- b) O consumo total de energia necessita ser reduzido para permitir autonomia energética;
- c) A segurança na rede deve ser garantida para proteger a privacidade do paciente;
- d) Deve ser dada atenção especial à confiabilidade, pois um sinal vital crítico não detectado pode levar a consequências fatais. A melhoria na

confiabilidade requer a minimização de erros na comunicação sem fio e na capacidade de detectar erros.

- e) Os sensores devem ser dotados de mais inteligência para que estes sejam capazes de armazenar, processar e transmitir sinais continuamente ou ainda ser acionado por meio de eventos.

Para que tais desafios sejam superados os autores destacam que é necessário haver avanço na comunicação sem fio, processamento digital de sinal, detecção e leitura de sinais, captação de energia, embalagem e integração de dados/sinais.

O artigo também introduz os progressos recentes na área de captação de energia, comunicação sem fio com baixo consumo de energia, processamento digital de energia, detecção e leitura de sinais. Para os autores, esses progressos poderiam superar os principais obstáculos tecnológicos de WBANs.

Ao listar os desafios no desenvolvimento de WBANs, Huang et. al. (2009) relacionam questões que estão ligadas a esta pesquisa, tais como a necessidade dos nós sensores terem seus níveis de erro minimizados o que é um tipo de incerteza presente no contexto do monitoramento da saúde. Como contribuição o PRANINC possibilita conhecer quais as incertezas associadas aos resultados obtidos neste tipo de monitoramento.

No Quadro 2 é apresentado um resumo das contribuições feitas por esses trabalhos à tese apresentada neste documento.

Trabalho - Autor	Contribuição	Relação com a tese
Tang et. al. 2012	Descreve o emprego do raciocínio plausível em sistemas de diagnóstico de falhas através da avaliação de incertezas e probabilidades de falhas ocorrerem.	Uma vez que a tese emprega a teoria de DS como um dos fundamentos da pesquisa, e esta por sua vez, aplica o raciocínio plausível. A relação entre os trabalhos é observada na análise do intervalo de certeza, para o qual são observados valores de crença e valores plausíveis.
Rajendra et. al. 2011	Apresenta o emprego de estrutura baseada no Teorema de Bayes e a Teoria de Dempster-Shafer para modelar o problema de decisão.	O emprego da teoria de DS, como auxiliar no processo de tomada de decisão, em situações com a presença de incertezas, é relacionado com esse com o cenário destacado nessa tese, uma vez que a este é são necessárias decisões sobre incertezas.
Mohanavalli et. al. 2011.	Descreve uma arquitetura que busca assegurar o monitoramento remoto e contínuo de pacientes, considerando a existência de restrições inerentes ao hardware de sensores.	As restrições de hardware, especialmente os relacionados com os sensores aplicados no monitoramento remoto do paciente, são umas das classes de incertezas propostas por essa tese e, o estudo descrito nesse artigo ressalta exatamente a necessidade de se observar as

		restrições pertinentes ao hardware de sensores.
Bettini et. al. 2010	Este trabalho afirma que a informação contextual é obtida a partir de uma variedade de fontes que se diferenciam na qualidade da informação que elas produzem e, estas frequentemente falham. Afirma ainda que os relacionamentos existentes entre as informações contextuais devem ser capturados para assegurar o correto comportamento da aplicação.	A afirmação de que a informação contextual pode ter a qualidade variável e apresentar incertezas, e que as relações entre as entidades ou fatos contextuais presentes no cenário monitorado podem ter dependência mútua, fornecem subsídios às afirmações que esta tese faz e, portanto, estão relacionados entre si.
Mal-Salaret. al. 2009	Neste trabalho, o gerenciamento da incerteza em WSN é descrito através do raciocínio sobre a informação inconsistente, incompleta ou fragmentada.	A relação deste trabalho com esta tese está no tratamento das incertezas em sistemas sensíveis ao contexto como WBANs, e na necessidade de se observar todos os elementos presentes no contexto de monitoramento.
Huang et. al. 2009	Neste artigo são relacionados os desafios na área de sensoriamento da saúde humana com destaque a diversas questões como capacidade energética, confiabilidade e detecção de erros e falhas no sistema.	O relacionamento deste artigo com a tese dá-se através da necessidade em se observar questões como confiabilidade, detecção de erros e falhas em sistemas de sensoriamento da saúde humana, elemento evidenciado nesta pesquisa como uma das classes de incertezas a ser analisada.
Truong et. al. 2005	O artigo descrito por esses autores destaca um modelo unificado para representação e raciocínio sobre incertezas em sistemas sensíveis ao contexto.	Por este artigo destaca a importância da caracterização dos níveis conceituais, identificação dos tipos de incertezas este artigo se relaciona com a tese uma vez que esta destaca a necessidade de identificação e análise das incertezas no monitoramento da saúde humana através de sensores.
Henricksen et. al. 2004	Neste trabalho são caracterizados tipos de informações contextuais incertas.	Este artigo fornece subsídios iniciais para estudos sobre a caracterização de informações incertas presentes no monitoramento da saúde humana.

Quadro 2: Contribuições dos trabalhos relacionados à tese

1.5 Metodologia

A metodologia adotada neste trabalho é composta por quatro etapas principais: Análise de trabalhos relacionados; Classificação de incertezas contextuais; Estruturação do PRANINC e Resultados e discussões, conforme destaca a Figura 2.

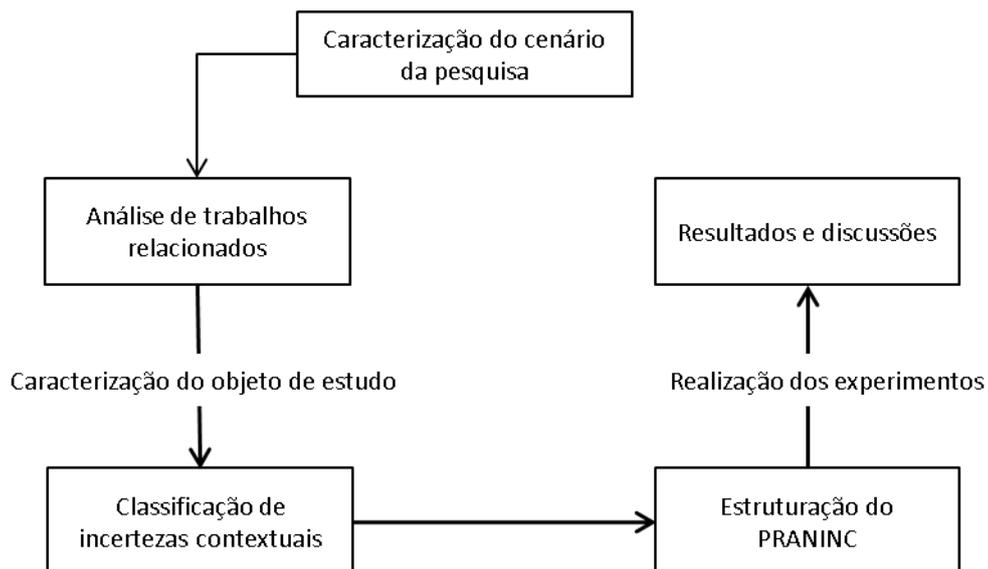


Figura 2: Metodologia aplicada na pesquisa

A análise de trabalhos relacionados é a primeira etapa na metodologia, que ocorreu após a caracterização do cenário de pesquisa, e teve como meta relatar importantes investigações relacionadas com a pesquisa desenvolvida. Teve como contribuição original um estudo comparativo entre os trabalhos citados e a pesquisa descrita na tese.

A etapa de classificação de incertezas contextuais foi desenvolvida após a caracterização do objeto de estudo, e teve como objetivo o estudo e definição das classes contextuais a serem abordadas na pesquisa. Como contribuição à pesquisa foram definidas três classes contextuais, a saber, as fisiológicas, as comportamentais e as ambientais. Estas classes conceituais estão relacionadas a três fontes de incertezas: os dispositivos empregados no monitoramento (os sensores), a interação entre as variáveis observadas e a tecnologia empregada na transmissão dos dados obtidos no monitoramento.

Uma vez feita a classificação das incertezas contextuais, a próxima etapa teve como alvo a definição de um processo para a análise de informações contextuais incertas presentes no monitoramento da saúde humana através de sensores. A definição do processo teve como suportes a Teoria de Dempster-Shafer e o Modelo de Fatores de Certeza, os quais possibilitaram definir o PRANINC.

A última etapa da metodologia ocorreu após a realização de quatro experimentos, que possibilitaram analisar o comportamento das classes contextuais diante das incertezas relacionadas com os sensores empregados nos experimentos.

Esta etapa apresenta uma descrição do comportamento do processo PRANINC diante do cenário do monitoramento da saúde humana.

Os dados fisiológicos utilizados nos experimentos desta pesquisa foram obtidos a partir do monitoramento de 5 pacientes. Também foram capturados dados relacionados a temperatura do ambiente e do comportamento do paciente.

Os próximos capítulos fornecerão importantes conceitos base para a realização dos experimentos que caracterizarão as incertezas e seus possíveis impactos no diagnóstico médico, além de buscar fornecer indicadores quanto aos direcionamentos necessários para apresentá-las ao profissional médico.

1.5.1 Contribuições

Neste trabalho pretende-se analisar informações contextuais incertas que estão presentes no monitoramento da saúde humana através de sensores. Os aspectos inovadores da abordagem proposta são:

- i. Especificação do processo PRANINC para a análise de informações contextuais incertas presentes no monitoramento da saúde humana através de sensores;
- ii. Estruturação de classes específicas das informações contextuais associadas ao monitoramento da saúde do diabético e hipertenso através de rede de sensores.
- iii. Estruturação de classes específicas das incertezas associadas ao monitoramento da saúde humana através de sensores.
- iv. Análise da influência do contexto sobre as hipóteses levantadas no domínio de análise.
- v. Análise da influência das informações incertas sobre os dados e resultados de experimentos.

1.5.2 Organização da tese

Esta tese está organizada da seguinte maneira:

- **Capítulo 1 - Introdução.** Este capítulo tem por finalidade situar o leitor acerca do conteúdo da tese apresentando a motivação do trabalho, seu objetivo, trabalhos relacionados e organização da tese.

- **Capítulo 2 - Aspectos do monitoramento da saúde humana através do emprego da tecnologia de rede de sensores.** Este capítulo apresenta o embasamento teórico e os principais termos utilizados no trabalho.
- **Capítulo 3 – Incertezas contextuais no monitoramento do indivíduo diabético e hipertenso.** Neste capítulo são comentadas e organizadas as classes de incertezas contextuais pertencentes ao monitoramento da saúde do paciente diabético e hipertenso.
- **Capítulo 4 - PRANINC – Processo para Análise de Incertezas contextuais no monitoramento do indivíduo diabético e hipertenso.** Este capítulo caracteriza e descreve o processo para análise de incertezas PRANINC, descrevendo os experimentos realizados em sua validação e a análise dos resultados.
- **Capítulo 5 – Respostas às questões de pesquisa.** Neste capítulo serão destacadas as respostas aos questionamentos feitos no início da pesquisa.
- **Considerações finais e trabalhos futuros.** Neste capítulo são apresentadas as considerações finais da pesquisa, discutindo as contribuições obtidas e os possíveis trabalhos futuros que podem ser originados.

1.6 Comentários sobre o capítulo

O propósito deste capítulo foi apresentar o contexto em que a pesquisa está inserida, assim como descrever sua motivação, objetivos, questões de pesquisa e metodologia. Nos procedimentos metodológicos foram ressaltados aspectos relacionados com as contribuições pretendidas pela pesquisa assim como a organização desta tese.

Já como contribuição desta tese é apresentado um quadro que relaciona os o estado da arte sobre o assunto em questão e sua relação com a pesquisa ora desenvolvida.

2. ASPECTOS DO MONITORAMENTO DA SAÚDE HUMANA ATRAVÉS DO EMPREGO DA TECNOLOGIA DE REDE DE SENSORES

O monitoramento remoto da saúde de pessoas envolve o emprego de tecnologias que possibilitam a observação, a medição e a avaliação contínua dos sinais vitais de pacientes e a condição de sua saúde à distância. É a partir das informações repassadas pelo sistema de monitoramento para a equipe médica que estes podem fornecer o diagnóstico e os direcionamentos para o tratamento adequado do paciente.

Monitorar a saúde humana através de sensores permite que profissionais da área da saúde acompanhem o estado da saúde dos pacientes remotamente. Em outras palavras, o suporte da mobilidade promovida pela tecnologia de sensores na medicina permite o monitoramento e tratamento contínuo ou pontual de pacientes, mesmo à distância, possibilitando que sejam empregados sensores na habitação do paciente contribuindo, por exemplo, com a melhoria em sua qualidade de vida, uma vez que este não estará restrito ao ambiente hospitalar.

Também, o emprego da tecnologia de sensores na medicina promove maior controle e autogestão do processo de cuidados na saúde, melhoria na qualidade dos cuidados da saúde do paciente, com a redução de erros médicos através do sistema de alerta em situações específicas e o acesso remoto às instalações médicas e aos especialistas médicos (NG, 2006).

O monitoramento constante da saúde possibilita o aumento da detecção precoce de quadros clínicos adversos em pacientes de risco, salvando potencialmente mais vidas e/ou aumentando a esperança de vida (BAKER, 2007). Além disso, a integração entre equipamentos eletrônicos com capacidade sensorial permite o monitoramento permanente da saúde de pessoas, e esta traz importantes benefícios como a redução dos custos e melhor capacidade de acompanhamento do paciente (GONÇALVES, 2008).

Nesta pesquisa, importantes conceitos destacam-se como fundamentais em seu desenvolvimento, tais como os conceitos de sensibilidade ao contexto, o monitoramento da saúde humana através das redes de sensores; as informações contextuais incertas, o tratamento de informações incertas através do emprego da teoria da evidência de Dempster-Shafer e do Modelo de Fatores de Certeza. Assim,

este capítulo destaca os principais conceitos associados a esta pesquisa buscando alinhar a terminologia empregada e seus relacionamentos.

2.1 Sensibilidade ao Contexto

O termo “contexto” se refere a uma coleção de informações que caracterizam a interação entre o usuário e a aplicação. Tempo, localização, temperatura, luz, som e atividade são exemplos de informação contextual ou contexto. Ele também se relaciona com qualquer informação que pode ser usada para caracterizar circunstâncias, objetos ou condições pelos quais o usuário é rodeado [(DEY, 2000), (ZIMMER, 2004), (RANGANATHAN, 2003)].

Um sistema é dito sensível ao contexto quando utiliza o contexto para apresentar informação e serviço relevantes para o usuário, dependendo da tarefa que este desempenha (DEY, 2000).

Aplicações sensíveis ao contexto reagem e se adaptam às mudanças, podendo fornecer serviços e informação de acordo com o contexto do usuário. São aplicações que permitem ao sistema agir automaticamente, reduzindo o excessivo envolvimento do usuário. Além disso, elas proveem assistência inteligente e proativa.

Nas aplicações na área de saúde, a sensibilidade ao contexto tem sido o foco de diversas pesquisas, especialmente naquelas relacionadas à mobilidade dos pacientes e dos profissionais de saúde.

Os contextos podem ser classificados como de baixo e de alto nível (ABOWD, 2000).

- *Contexto de baixo nível:* obtido diretamente de sensores ou através de processamento simples;
- *Contexto de alto nível:* obtido através da composição de informação de contexto de baixo nível ou que requer processamento sofisticado, com visualização por máquina ou uso de Inteligência Artificial. Exemplo: uso de informação de tempo, localização e agenda do usuário como auxiliares da definição de sua situação social: “em reunião”, “recebendo medicação”, “cozinhando”.

O contexto também pode ser classificado em ativo, quando a informação é utilizada pela aplicação para adaptar seu comportamento; e passivo quando a

informação que não é crítica para a adaptação da aplicação, mas que é provida ao seu usuário para aumentar sua compreensão da situação corrente (CHEN, 2000).

Em outra classificação, Abowd (2000) descreve a informação contextual como “cinco Ws”, conforme destacados a seguir:

- *Who* (quem): identificação do usuário, pessoas e dispositivos próximos;
- *What* (o que): atividade do usuário;
- *Where* (onde): localização;
- *When* (quando): tempo, e;
- *Why* (por que): informações que caracterizam o estado do usuário.

Em Troung (2001), observa-se que devido à dificuldade na obtenção de informações relativas à dimensão *Why*, geralmente associa-se a dimensão *What* com uma sexta dimensão *How* (como) para inferir informações sobre *Why*. Para aplicações específicas, como captura e acesso, a dimensão *How* é importante e pode definir como os dados foram capturados e como eles podem ser acessados.

Na Figura 3 é apresentada a relação entre importantes conceitos relacionados a contexto e a informação contextual.

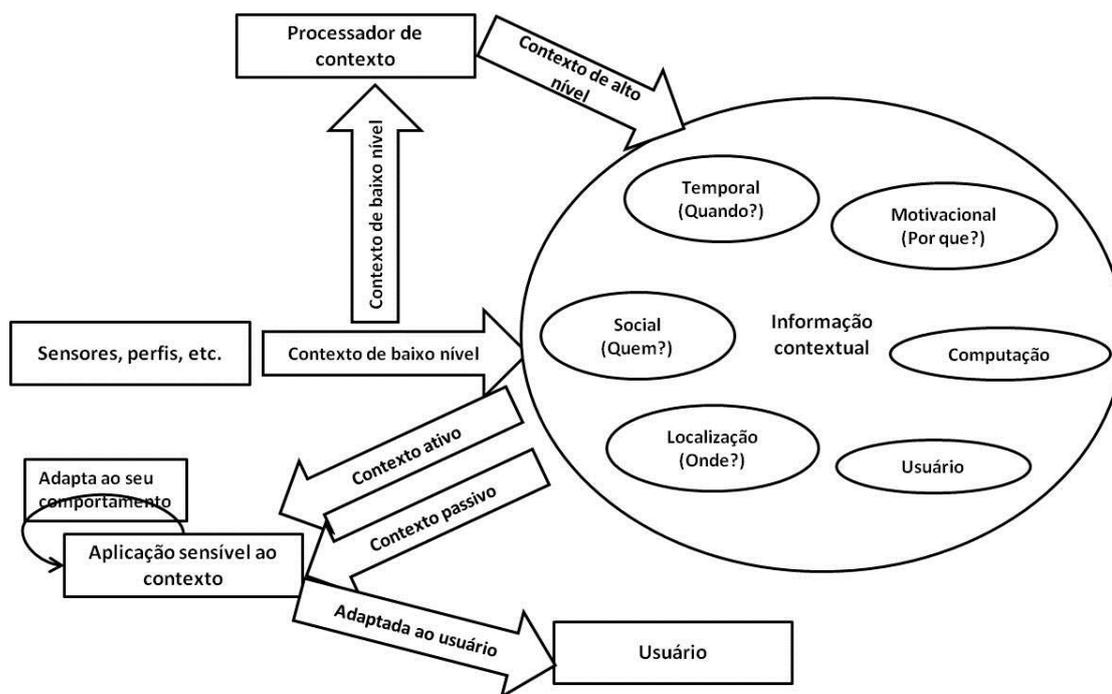


Figura 3: Contexto e informação contextual
Adaptado de Chen, (2010).

Nesta relação, o contexto de baixo nível fornece dados oriundos de sensores e perfis ao contexto de alto nível. Este, através de um processador, provê

a informação contextual (onde, que, quando, por que, etc.) que será usada de maneira ativa ou passiva pela aplicação, possibilitando assim a adaptação do seu comportamento.

Nessa pesquisa, o contexto no qual o paciente se encontra, e o sistema computacional fornecem os elementos essenciais ao funcionamento do cenário de monitoramento, pois estes apresentam forte interação seja do ambiente físico e o paciente ou nas ações desempenhadas pelo paciente, que poderão influenciar no estado das variáveis de maneira mútua. Desta forma, conhecer os aspectos inerentes aos sistemas sensíveis ao contexto é fundamental neste trabalho.

2.2 Monitoramento através de redes de sensores

As redes de sensores têm sido aplicadas em diversos cenários, tais como monitoramento ambiental e climático (JOHNSON, 2006), viticultura (VERONA, 2010) e sensores biológicos (ROCHA, 2007) dentre outros.

De maneira geral, uma rede de sensores é uma rede sem fio formada por diversos nós (sensores) que coletam e transmitem alguma característica do ambiente onde se encontram. As redes de sensores são compostas por dispositivos com energia restrita, apresentam topologia de rede dinâmica e envolvem grande quantidade de nós.

A tecnologia de sensores fornece suporte básico para as redes de sensores e, conseqüentemente, ao monitoramento remoto. Existe uma grande variedade de sensores tais como de iluminação, movimento e aceleração, localização, posicionamento e proximidade, toque e interação com o usuário, temperatura, umidade e pressão do ar, peso, sinais biológicos e radares entre outros.

Sensores podem estar embarcados em um ambiente, como parte de uma sala ou de um carro, favorecendo a detecção das atividades desempenhadas nesse ambiente, ou ainda possibilitando a localização de pessoas dentro dele; eles podem estar vestindo uma pessoa ou mesmo dentro dela (LOKE, 2006).

Pereira (2003) destaca que uma rede de sensores sem fio é formada por um grande número de sensores pequenos e imóveis, plantados numa base para detectar e transmitir alguma característica física do ambiente; sendo que a informação contida nestes é agregada numa base central de dados. Este autor ressalta ainda que uma rede de sensores pode ser considerada uma classe particular de sistemas distribuídos, onde as comunicações de baixo nível não

dependem da localização topológica da rede e possuem características particulares como a utilização de recursos restritos de energia, a topologia de rede dinâmica e uma grande quantidade de nós.

A capacidade sensorial, de processamento e de comunicação das redes de sensores possibilita que um determinado fenômeno seja monitorado. É através da cooperação e processamento distribuído que os sensores realizam a tarefa do monitoramento (MARCELINO, 2008).

As Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) são formadas de dezenas a milhares de nós sensores, que possuem limitada capacidade de memória, poder computacional e de energia e, possibilitam o desenvolvimento de sistemas móveis que desempenham o monitoramento contínuo de informações contextuais.

Entretanto, embora as RSSF sejam uma realidade em diversos campos de aplicação, elas ainda são objetos de investigação pela comunidade científica. Para tanto, soluções como simulação e a construção de *testbeds* têm sido propostas na validação de pesquisas que envolvem rede de sensores.

Nas pesquisas envolvendo Rede de Sensores do Corpo Humano (RSCH¹), fatores como o alto custo para criação e montagem de uma rede de sensores real, e a utilização de componentes eletrônicos de difícil acesso e com escassa documentação de uso favorecem com que a simulação e o emprego de plataformas como os *testbeds* tornem-se as escolhas mais adequadas.

Assim nessa seção esses dois conceitos são descritos, de maneira geral, para que seus elementos sejam observados.

a) Simulação de rede de sensores

A simulação é uma técnica que vem sendo muito utilizada para a análise de fenômenos que sejam de difícil manipulação ou que apresentem dificuldades de modelagem analítica ou matemática. Possibilita a criação de diversos cenários que representam características a serem analisadas. Seu uso possibilita a avaliação de, por exemplo, novas técnicas e protocolos de rede sem a necessidade da construção de ambientes reais.

O emprego da simulação mostra-se uma ferramenta eficaz, pois apresenta como vantagens a facilidade no controle dos detalhes, boa relação custo/benefício e

¹ O termo “Rede de Sensores do Corpo Humano” é uma tradução do termo original, em inglês, Body Sensor Networks. Essa tradução foi utilizada por Sene em (SENE JR *et al.*, 2005).

flexibilidade, possibilitando que sejam realizados experimentos de hardware e ou software que ainda não se encontram disponíveis. Isto proporciona o desenvolvimento de cenários que se tornariam extremamente complexos para avaliações experimentais. Além disso, seus resultados podem chegar bem próximo dos resultados reais ou até mesmo se igualarem.

Dentre as áreas que utilizam deste meio como forma de aprendizado e análise de resultados, podem ser citadas as companhias aéreas para o treinamento de seus pilotos, bem como a área da medicina, que procuram desenvolver modelos com a finalidade de treinar seus médicos para procedimentos cirúrgicos que não poderiam ser realizados em ambientes reais.

Yu (2012) apresenta um estudo sobre algumas ferramentas de simulação de redes de sensores destacando aspectos como nome, tipo de ferramenta, tipo de evento simulado, finalidade e algumas informações adicionais. O Quadro 3 apresenta tais aspectos.

Nome	Simulador/ Emulador	Tipo	Finalidade	Mais informações
NS-2	Simulador	Simulação de eventos discretos	Propósitos gerais	1 - Simula não mais que 100 nodos. 2 - Não simula problemas de largura de banda e consumo de energia em WSNs.
TOSSIM	Emulador	Simulação de eventos discretos	Projetada para WSNs	1 - Suporta a simulação de centenas de nós. 2 - Emula apenas aplicações homogêneas. 3. Usar o PowerTOSSIM para simular o consumo de energia.
EmStar	Emulador	Simulação <i>Trace-Driven</i>	Projetada para WSNs	1 - Suporta um grande numero de sensores. 2 - Executa apenas em tempo real e é aplicável apenas aos nós iPAQ-class e MICA2.
OMNeT++	Simulador	Simulação de eventos discretos	Propósitos gerais	1 - Suporta protocolos MAC e alguns protocolos de localização em WSN. 2 - Simula o consumo de energia e outros canais de controle. 3 - Possui protocolos limitados.
J-Sim	Simulador	Simulação de eventos discretos	Propósitos gerais	1 - Simula um grande número de sensores, cerca de 500. 2 - Simula canais de radio e consumo de energia. 3 - seu tempo de execução não é muito longo.
ATEMU	Emulador	Simulação de eventos discretos	Projetada para WSNs	1 - Emula diferentes sensores em redes homogêneas ou heterogêneas. 2 - Emula o consumo de energia ou canais de radio. 3 - O tempo de simulação não é muito longo.
Avrora	Simulador	Simulação de eventos discretos	Projetada para WSNs	1 - Pode suportar a simulação de centenas de nós. 2 - Pode economizar mais tempo de execução.

Quadro 3: Comparação entre as sete principais ferramentas de simulação de Rede de Sensores.

b) Testbeds

O termo “*testbed*”, em computação, diz respeito às plataformas para experimentos de projetos de desenvolvimento. Tais plataformas permitem a experimentação de teorias científicas, ferramentas computacionais e novas tecnologias de maneira transparente e replicável.

Os *testbeds* são ambientes que possibilitam a realização segura de experimentos. Uma plataforma de *testbed* pode incluir hardware, software e componentes de rede.

No monitoramento da saúde humana, diversas iniciativas têm sido desenvolvidas para a realização de experimentos com dados vitais de pacientes, como pode ser observado em [(ZHU, 2011), (LORINCZ, 2009) (KO, 2010)].

Um exemplo dessas iniciativas é o Codeblue, que é uma plataforma para redes de sensores médicos. Essa plataforma fornece protocolos para descoberta, publicação e subscrição de roteamento *multihop*², na qual os nós só precisam realizar transmissão aos seus vizinhos. Também disponibiliza uma interface de consulta para acompanhamento médico (SHNAYDER, 2005).

Os sensores médicos desenvolvidos são baseados no MicaZ e no Telos Mote, o que inclui sensores de oxímetro de pulso, ECG e sensores de movimentação.

O Codeblue também é integrado por um sistema de localização baseado em radio frequência, o *Motetrok*, que possibilita localizar pacientes e sua equipe médica responsável. Essa plataforma é um projeto desenvolvido pela Universidade de Harvard, que tem como objetivo explorar a utilização das redes de sensores para um grande número de aplicações médicas, incluindo emergência, resposta a desastres e reabilitação de pacientes (SHNAYDER, 2005).

O projeto Codeblue já desenvolveu os seguintes sensores:

a) Oxímetro: tecnologia não invasiva usada para avaliar a frequência cardíaca e a saturação do oxigênio no sangue (SpO₂). Esses dois parâmetros são críticos para o cuidado da saúde humana. O oxímetro de pulso projeta luz infravermelha através dos vasos sanguíneos. A partir da detecção da quantidade de luz absorvida pela hemoglobina no sangue em dois comprimentos de onda (650nm³

² Tipo de arquitetura que permite a redução do consumo de energia na transmissão, pois evita que todos os nós da rede precisem transmitir informações diretamente ao nó *sink*.

³ Nanômetro – unidade de comprimento. Equivalente a $1,0 \times 10^{-9}$ metros,

e 805 nm^3) é possível medir o nível de saturação no sangue. Já a frequência cardíaca pode ser determinada a partir do padrão de absorção de luz ao longo do tempo, já que os vasos sanguíneos contraem e expandem com o pulso do paciente (SHNAYDER, 2005).

b) Eletrocardiograma (ECG): são usados para cuidados clínicos e no trauma com o objetivo de medir as atividades elétricas do coração. O ECG é usado para empregar telemetria contínua (SHNAYDER, 2005).

c) Sensor de Movimento: os sensores de movimento são destinados ao estudo que envolve pacientes com dificuldades em se movimentar tais como, pacientes com o mal de Parkinson (SHNAYDER, 2005).

2.3 Monitoramento da saúde humana através de rede de sensores

A tecnologia de rede de sensores sem fio tem possibilitado diversas inovações, especialmente no monitoramento remoto da saúde humana, onde esta é a principal tecnologia envolvida; são seus fundamentos que possibilitam que as redes de sensores para o corpo humano sejam reais e auxiliem no monitoramento remoto da saúde de pacientes, proporcionando um acompanhamento à distância e trazendo benefícios tanto para o profissional da saúde quanto para os pacientes.

Rede de sensores para o corpo humano (*Body Sensor Network* – BSN ou *Body Area Network* - BAN), rede de sensores sem fio para o corpo humano (*Wireless Body Sensor Networks* - WBSN) ou ainda rede de sensores sem fio vestíveis (*Wearable Wireless Body Sensor Network* - WWBSN), são designações para a tecnologia de rede de sensores utilizada no monitoramento da saúde humana.

Essas redes são ainda designadas como redes de sensores médicos – *Wireless Body Sensor Network* (WBAN), *Personal Area Network* (PAN) ou *Wireless Personal Area Network* (WPAN). As redes para monitoramento da saúde humana, com base na tecnologia de sensores, são constituídas por um conjunto de sensores compactos e móveis que são usados em pessoas de maneira invasiva ou não.

Uma RSCH é composta por sensores fisiológicos que monitoram os sinais vitais e dados do ambiente em que o paciente se encontra e os enviam para os profissionais de saúde que, mesmo à distância, podem acessá-los e tomar decisões acerca do tratamento do paciente em monitoramento. Tais redes podem monitorar os sinais fisiológicos de pacientes remotamente, incluindo EEG

(Eletroencefalograma), ECG (Eletrocardiograma), SPO2 (Saturação do oxigênio no sangue), pressão sanguínea, fluxo sanguíneo e nível de glicose entre outros.

O monitoramento ininterrupto e minimamente intrusivo da saúde humana por meio de Redes de Sensores do Corpo Humano é uma solução importante e de grande potencial econômico e social, permitindo o acompanhamento de hábitos de vida diária e a detecção precoce de enfermidades, antecipando assim o aparecimento de doenças; além disso, possibilita acompanhar continuamente a saúde dos pacientes.

Na Figura 4 é destacada uma Rede de Sensores do Corpo Humano aplicada no monitoramento ambulatorial da saúde, onde são vistos diversos sensores que monitoram algumas funções vitais do corpo humano (sensores de ECG e de SPO2, etc.) e algumas tecnologias empregadas nesse tipo de sistema (tais como: GPRS, WLAN, etc.) e uma estrutura que engloba servidores de informações médicas, profissionais da área de saúde, serviços de emergência e médicos.

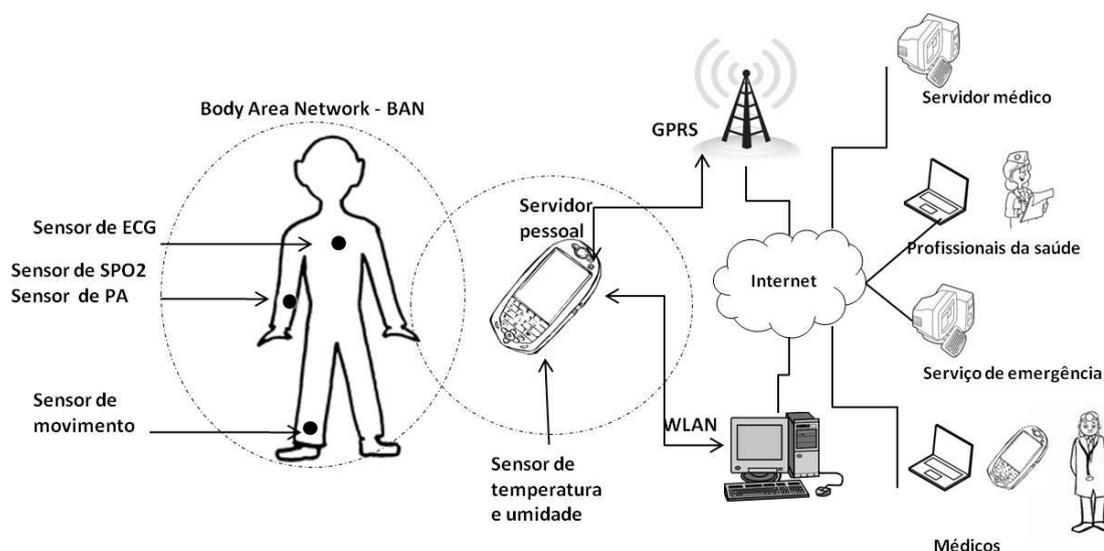


Figura 4: *Wireless Body Area Network* para monitoramento da saúde

Cada sensor empregado no monitoramento da saúde humana é capaz de obter, processar e comunicar dados vitais do corpo humano, o que inclui frequência cardíaca, pressão arterial, saturação sanguínea; dados relacionados ao comportamento humano e suas atividades e ainda dados relacionados ao meio ambiente tais como localização, temperatura, umidade e iluminação. Os sensores se comunicam através de tecnologias sem fio transmitindo estes dados para uma estação base.

Conforme Nasser (2010), cada sensor recebe comandos de inicialização e responde a pesquisas de um servidor pessoal. Periodicamente a rede de sensor coleta e envia informações para o servidor pessoal. A frequência de envio para o servidor pessoal é um parâmetro importante na vida da bateria, embora o tempo de vida da rede esteja sob o controle do usuário com base no tipo e natureza dos sinais fisiológicos enviados.

Ainda segundo Nasser (2010), os sensores médicos devem satisfazer alguns requisitos tais como peso mínimo, tamanho pequeno e um consumo baixo de energia de maneira a permitir um monitoramento mais prolongado e sua integração à rede de sensores. Além disso, devem seguir protocolos de interface baseados em padrões, calibrações, sintonias e customizações específicas do paciente ao qual estiverem associados.

Para Ren (2005), as redes de sensores aplicadas no monitoramento remoto da saúde do homem é resultado da convergência de biossensores, comunicação sem fio e tecnologia de redes.

Um exemplo de aplicação que emprega sensores no monitoramento da saúde humana pode ser observado em Sene Junior (2006), que apresenta uma Rede de Sensores para o Corpo Humano responsável por coletar a temperatura na superfície do corpo humano.

Carvalho (2010) propõe um arcabouço para o monitoramento da saúde de pessoas em suas residências, destacando a integração de conhecimentos médicos, condições ambientais, dados fisiológicos e comportamentais do paciente.

Gonçalves (2008) apresenta uma plataforma com sensores de temperatura e luminosidade criada para monitorar o ambiente habitacional do paciente. Neste sistema os dados recolhidos são processados no sensor e em seguida transmitidos para um servidor que permite o registro da atividade do paciente.

Marcelino (2008) destaca a necessidade e urgência por tecnologias que facilitem o monitoramento contínuo da saúde das pessoas em especial do idoso. Neste sentido uma arquitetura denominada *Elder Care* é proposta tendo como principais objetivos o monitoramento dos sinais vitais do idoso e a integração do idoso através de uma rede evitando assim o isolamento social.

Segundo Milenković (2006) as redes de sensores sem fio são a tecnologia fundamental para o sistema de telemedicina e neste a primeira camada de sensores

médicos sem fio são integrados em uma rede de sensores também sem fio onde cada sensor é responsável por obter e processar um ou mais sinais fisiológicos.

Um sensor de eletrocardiograma (ECG), por exemplo, pode ser usado para monitorar a atividade cardíaca; um sensor de eletromiograma (EMG) é empregado para monitorar a atividade muscular; um eletroencefalograma (EEG) monitora a atividade elétrica mental; um sensor de pressão arterial é usado para monitorar a pressão sanguínea; um sensor de inclinação monitora a posição do tronco humano; um sensor de respiração é empregado para monitorar a respiração e sensores de movimentos discriminam a posição do usuário e estima o seu nível de atividade, enfim vários tipos de sensores atuam na obtenção de diversos tipos de dados.

Neste sistema, a segunda camada abrange o servidor pessoal de aplicação (*Personal Server*) que pode ser executado sobre um *Personal Digital Assistant* (PDA), um telefone celular ou um computador pessoal. Este servidor é responsável por um número de tarefas, provendo interface transparente para os sensores médicos sem fio, uma interface para o usuário e uma interface para o servidor médico.

A interface para a rede de sensores sem fio inclui a configuração e gerenciamento da rede. A configuração abrange atividades como: registro do sensor (tipo e número), inicialização (por exemplo, frequência de amostragem e modo de operação), personalização (executar calibração específica do usuário ou procedimento de *upload* para processamento de sinal específico do usuário) e configuração de comunicação segura (troca de chave).

Baseado na sinergia das informações oriundas de diversos sensores médicos a aplicação do servidor pessoal poderá determinar o estado do usuário e sua condição de saúde e prover opinião através de uma interface gráfica intuitiva e amigável ou ainda sobre uma interface de áudio.

Finalmente, se o canal de comunicação para o servidor médico é disponível, o servidor pessoal estabelece um link seguro para o servidor médico e envia relatórios que podem ser integrados dentro do registro médico do usuário. Entretanto, se um link entre o servidor pessoal e servidor médico não está disponível, o servidor pessoal deverá ser capaz de armazenar os dados localmente e inicializar *uploads* de dados quando o link se torna disponível.

A terceira camada inclui o servidor médico acessado via Internet. Além do servidor médico, esta camada engloba outros servidores, tais como o da equipe

médica e dos profissionais de saúde, dos prestadores de serviços e até mesmo dos servidores de emergência.

O servidor médico geralmente executa um serviço que configura um canal de comunicação para o usuário do servidor pessoal, coleta os relatórios do usuário, e integra os dados dentro de um registro médico do usuário, podendo ainda emitir recomendações e alertas se os relatórios indicam alguma condição anormal.

2.3.1 Requisitos em rede de sensores para o monitoramento da saúde humana

O monitoramento da saúde humana requer importantes requisitos relacionados às redes de sensores. Alguns desses requisitos podem ser observados em Barua (2011) que destaca a vestibilidade (do inglês *wearability*), a confiabilidade, a segurança e a interoperabilidade.

O requisito vestibilidade relaciona-se com a necessidade dos sensores médicos serem pequenos e leves de maneira a fornecer um monitoramento contínuo não invasivo e sem obstrução das tarefas do usuário. Aspectos como o tamanho e o peso dos sensores são determinados pelo tamanho e peso das baterias e estas têm sua capacidade diretamente proporcional aos seus tamanhos.

A confiabilidade é possivelmente a característica mais importante nas aplicações médicas que dependem de rede de sensores sem fio. Uma abordagem para melhorar a confiabilidade é ir além da telemetria (medição e comunicação de informações de interesse do operador ou desenvolvedor de sistemas) através da realização do processamento do sinal sobre o sensor. Por exemplo, na transferência de um conjunto de dados de um sensor de ECG é possível extrair as características do sensor e enviar apenas as informações sobre um evento.

Outro aspecto é a redução de demandas pesadas no canal de comunicação e a redução dos requisitos de comunicação, destinados à economia de energia e, conseqüente, aumentar o tempo de vida da bateria usada pelo sensor.

O requisito segurança pode ser visto em todos os níveis do sistema de medicina baseada em rede de sensores sem fio. Por exemplo, no nível de hardware, os sensores médicos devem obedecer a requisitos de privacidade, de acordo com o estabelecido em Lei, e todos os dispositivos médicos devem garantir a integridade dos dados que manipulam.

A interoperabilidade é outro requisito importante, uma vez que os sensores médicos sem fio devem permitir que os usuários facilmente montem uma rede de sensores de cuidados médicos sem fio de acordo com o estado de saúde do usuário.

Ainda, Barua (2011) destaca importantes requisitos para que dados sobre sinais vitais sejam transmitidos em uma rede de sensores sem fio uma vez que, dependendo das medidas de sinais vitais, diferentes taxas de amostragem serão adotadas.

O Quadro 4 apresenta alguns requisitos observados na transmissão de sinais fisiológicos através de sensores. Estes requisitos devem ser observados para que os dados sobre sinais vitais sejam comunicados.

Medidas biomédicas	Largura de banda (Hz)	Taxa de amostragem (Hz)	Taxa de informação (Hz)
ECG	0.01 - 250	1250	15000
Frequência cardíaca	0.4 - 5	10000	120000
EEG	0.5 - 70	350	4200
EMG	0 - 10000	50000	600000
Temperatura	0 - 1	5	80

Quadro 4: Requisitos na transmissão de sinais fisiológicos
Fonte: Barua (2011)

Na pesquisa apresentada nesta tese, além desses requisitos, são considerados outros requisitos como importantes na transmissão de dados vitais, são eles: a capacidade em lidar com as incertezas inerentes ao dado obtido; a interação que ocorre entre os dados presentes no cenário de monitoramento, visto que estes se influenciam mutuamente; a sua transmissão a partir do ponto de origem até o destino final.

Diferentemente das redes de sensores tradicionais, os nós sensores podem ser colocados dentro ou próximo ao fenômeno a ser analisado (JOHNSON, 2011).

No Quadro 5 são apresentados alguns parâmetros transmitidos durante o monitoramento da saúde humana e as especificações técnicas associadas.

Parâmetros	Especificações
eletrocardiograma - ECG	Frequência: 0.5 Hz –100 Hz Amplitude: 0.25 – 1mV
Frequência cardíaca	40 – 220 - batidas por minuto.
Frequência respiratória	2 – 50 respirações por minuto Frequência: 0.05 Hz –10 Hz

Posicionamento	0-360° 3 - eixo
Aceleração	+2g

Quadro 5: Especificação de parâmetros para monitoração
Fonte: (SARDINI, 2011).

2.3.2 Sensores empregados no monitoramento do paciente hipertenso e diabético

No monitoramento do paciente diabético e hipertenso através de sensores diversos sensores podem ser aplicados, dependendo do tipo de aspecto que se deseja monitorar. No escopo desta pesquisa, dois sensores são destacados para a coleta de dados fisiológicos, o sensor de nível de glicose sanguínea e o sensor de pressão arterial. Para a coleta de dados ambientais e comportamentais são destacados os sensores de temperatura ambiente e de movimento, descritos a seguir.

a) Glicosímetro

De maneira geral, um glicômetro ou glicosímetro (do inglês *glucometer* ou *glucose meter*) é um dispositivo médico empregado para aferir o nível de concentração de glicose no sangue. É um importante instrumento empregado no cuidado com pessoas com *Diabetes Mellitus*. Este dispositivo exibe o nível de concentração de glicose no sangue em miligramas por decilitro. Alguns aspectos destacados neste tipo de sensor são a transferência de dados e a precisão do dispositivo. A transferência dos dados obtidos por um glicômetro pode acontecer através de cabo ou transmissão wireless.

b) Sensor de Pressão Arterial

Trata-se de um dispositivo destinado a medir os níveis de pressão arterial, especialmente para pessoas que têm hipertensão. Seu funcionamento baseia-se na detecção dos 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.

Algumas especificações técnicas para esse tipo de dispositivo incluem intervalo de medida, pressão máxima, precisão e tempo de resposta.

c) Sensor de Movimento - Acelerômetro

Acelerômetros são dispositivos eletrônicos que medem a aceleração do movimento corporal e permitem quantificar de forma objetiva a frequência, a duração e a intensidade da atividade física (CHEN, 2005, apud ROMANZINI, 2012).

O acelerômetro, devido a sua capacidade de obter dados sobre o comportamento do paciente, é empregado para acompanhar o estilo de vida do monitorado, indicando se este realiza atividades físicas ou não, aspecto importante na vida diária de diabéticos (BRASIL, 2001).

Apesar de não fornecer informações contextuais das atividades realizadas, o emprego de acelerômetros, nesse tipo de monitoramento, permite melhorar o entendimento da relação entre atividade física e saúde, além de identificar achados que não são perceptíveis pelo uso de medidas subjetivas.

Tipicamente, os acelerômetros são constituídos por uma massa de reação suspensa por uma estrutura estática.

“Este aparelho pode ser visto como um transdutor massa-mola, que se encontra no interior de um sensor, que por sua vez está unido ao corpo. Sempre que este acelera, a inércia faz com que a massa resista. A força exercida pela massa é equilibrada pela mola e, como o deslocamento permitido pela mola é proporcional à força aplicada, a aceleração do corpo é proporcional ao deslocamento da massa. Num acelerômetro, a aceleração é geralmente medida num ponto especial de medida, ao longo de um eixo sensível do acelerômetro” (FIGUEIREDO, 2007, p.1).

d) Sensor de temperatura ambiente

Sensores de temperatura são considerados transdutores que alteram suas características físicas através da interação com o meio ao qual se busca determinar a temperatura. São dispositivos que possuem a capacidade de converter a grandeza física temperatura em um sinal elétrico (CALIL, 2012).

Esse tipo de sensor tem sido empregado no monitoramento ambiental. (CARVALHO, 2010; MARCELINO, 2008; JOHNSON, 2011 entre outros).

2.4 Incertezas no monitoramento da saúde humana baseada em sensores

Segundo Bettini et. al. (2010), os requisitos a serem observados pelas técnicas de raciocínio e modelagem de contexto devem incluir a modelagem de vários tipos de contextos de informação, seus relacionamentos, abstrações de

contextos, informações de fatos, históricos de informação de contexto e informação incerta de contexto.

Considera-se que tanto o mundo físico quanto as medidas sobre este estão propensos a incertezas, e isso indica que a chave dos requisitos para sistemas sensíveis ao contexto é capturar e dar sentido aos dados imprecisos e algumas vezes conflitantes do mundo físico.

Diferentes tipos de entidades ou objetos de software no ambiente devem ser razão para incertezas, incluindo entidades com sentido de contexto incerto, entidades que inferem sobre outros contextos incertos, contextos percebidos e aplicações que adaptam o comportamento com base em contextos incertos.

Quanto aos modelos para incertezas, os autores afirmam que têm sido desenvolvidos trabalhos direcionados ao problema da representação e raciocínio sobre informação de contexto incerto.

Em um ambiente de computação ubíqua, diferentes formas de aquisição de dados sobre a localização de uma pessoa, objeto ou dispositivo são providas. Ranganathan (2004b) apresenta uma categorização com três tipos de métricas descritas a seguir:

- a) **Resolução**: A resolução pode ser expressa tanto pela distância ou pela localização simbólica, dependendo do tipo de sensor. Sensores de RFID ou GPS, por exemplo, fornecem resolução em termos de distância. Outros, como leitores de cartão, fornecem a resolução em termos de localização simbólica como, por exemplo, uma sala, informando se a pessoa está ou não e em que sala.
- b) **Confiança**: é medida da probabilidade de uma pessoa estar dentro de certa área informada pelo sensor. A probabilidade é calculada com base na capacidade do sensor em detectar a pessoa em sua área de interesse.
- c) **Freshness**: é a medida baseada no tempo que se decorreu desde a última leitura do sensor. Todos os sensores têm um tempo de expiração, a partir do qual a leitura pode se tornar inválida⁴.

Truong (2005) destaca como um exemplo das consequências de informações incertas, a dificuldade de se afirmar ou deduzir que um usuário está dormindo baseado nas informações coletadas pelos sensores de movimento

⁴ Indica o tempo de validade do contexto ou evento até que se torne obsoleto.

colocados na cama, pelos sensores de iluminação que indicam se a luz da sala está apagada ou ainda pelos sensores de ruído que indicam se o som está desligado.

De maneira similar, Gu (2004) exemplifica que a correta localização de um usuário em um ambiente de uma casa inteligente pode ser prejudicada se o sensor de localização estiver impreciso; na Figura 5 é ilustrada uma situação em que a localização de um objeto ou uma pessoa é confusa, e isso ocorre em razão da área filtrada não representar a localização verdadeira do elemento monitorado, o que indica que lidar com contextos incertos é um desafio a ser considerado.

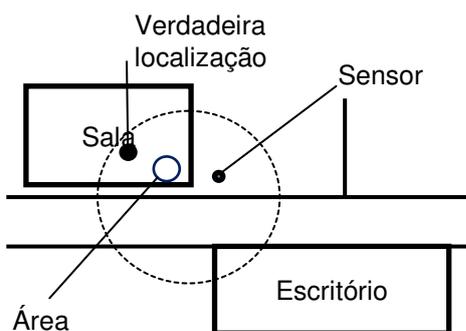


Figura 5: Leitura imprecisa de uma localização lida por sensores (Adaptado de PADOVITZ, 2004).

Para Salvador (2007), as incertezas emergem quando os sistemas tentam se tornar conscientes de contexto em tempo de execução e são indecisos no raciocínio sobre a situação verdadeira. Três fatores promotores de contextos incertos são destacados:

1. Baixa confiança no contexto inferido: causada pela combinação insatisfatória entre os tipos de atributos contextuais – virtuais e físicos. A existência de contexto incerto oriundo da combinação insatisfatória dos tipos de atributos indica necessidade de amadurecimento nas técnicas de combinação, agregação e fusão de dados contextuais com vistas a reduzir a margem de incertezas, em especial aquelas que serão disponibilizadas no contexto de alto nível, onde decisões serão tomadas.
2. Ambiguidade existente entre duas ou mais situações: este fator impede um raciocínio simples sobre o contexto correto. A ambiguidade deve ser levantada e analisada no âmbito de todo o sistema e seu projeto, uma vez que a definição de atributos e variáveis está relacionada com a escolha que se faz durante as fases de concepção e desenvolvimento do sistema.

3. Imprecisão e/ou insegurança associada aos sensores de baixo nível: este fator está relacionado à especificação dos tipos de sensores usados no sistema. Ressaltando-se que na elaboração do projeto as decisões sobre quais sensores serão utilizados devem considerar o sistema como um todo.

O contexto incerto também é causado pela agregação incompleta dos valores oriundos de sensores, pela identificação ambígua entre dois ou mais contextos e pela baixa confiabilidade na inferência de contextos (CHUNG, 2009).

Henricksen (2004) destaca quatro propriedades específicas para os atributos de informações contextuais incertas: desconhecida, ambígua, imprecisa e errônea, que podem inclusive ser combinadas. Um atributo é desconhecido quando não se tem qualquer informação válida sobre o mesmo. É ambíguo quando a ele podem ser relacionados vários e diferentes valores, por exemplo, quando dois sensores informam localização diferente para um mesmo objeto. A propriedade “imprecisa” é aplicada quando não há precisão quanto às informações reportadas, por exemplo, um sensor de posicionamento informa que um determinado objeto se encontra dentro de uma região, mas não consegue precisar exatamente em que local da região. Finalmente a propriedade errônea é aplicada quando existe erro entre o estado atual do atributo e aquilo que é reportado para o sistema.

No âmbito do monitoramento da saúde humana, fatores como a influência mútua entre dados fisiológicos, comportamentais e ambientais também podem ser apontados como potenciais geradores de informação contextual incerta, além daqueles inerentes às aplicações ubíquas e sensíveis ao contexto.

Ressalta-se que a investigação de outras métricas, melhores associadas aos sistemas de monitoramento da saúde humana através de sensores, têm relevância, uma vez que possibilitarão melhor adequação para a avaliação dos parâmetros inerentes a esses sistemas.

2.4.1 Classificação de incertezas

Para que as incertezas presentes no monitoramento da saúde humana através de sensores pudessem ser estudadas e analisadas, é proposta neste trabalho uma classificação de incertezas.

Essa proposta tem como base os trabalhos de Walker (2003) e McKeever (2008) e considera elementos como:

- (1) A classificação de incertezas em modelos de apoio a decisão e;

(2) As medidas de incertezas no estudo de sistemas sensíveis ao contexto.

Na classificação proposta por Walker (2003), uma escala de quatro níveis de incertezas é destacada, englobando desde a incerteza estatística até a total ignorância, conforme é apresentado na Figura 6.

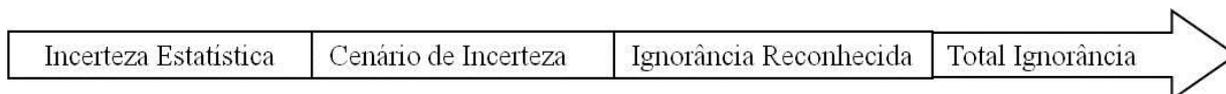


Figura 6: Escala classificatória para incertezas Walker (2003)

Nesta escala tem-se que:

- a) A incerteza estatística ou determinismo descreve uma situação em que os valores das variáveis estudadas são conhecidos, isto é, são conhecidos os possíveis resultados e suas probabilidades relacionadas. Por exemplo, no sistema de saúde, diante de algumas evidências, se conhece os possíveis diagnósticos com suas probabilidades associadas.
- b) O cenário de incerteza está associado ao estado onde todos os possíveis resultados são conhecidos, mas suas distribuições de probabilidade não são confiáveis. Neste nível da escala é possível relacionar probabilidades a várias hipóteses, mas devido à interação com o ambiente não é possível conhecer de antemão suas probabilidades.
- c) A ignorância reconhecida descreve o estado onde não são conhecidos nem os potenciais resultados nem suas probabilidades relacionadas. Nesse nível de escala, os mecanismos e as relações funcionais estão sendo identificados, mas ainda não há base científica suficiente para a afirmação confiável destes; na maior parte das vezes este nível da escala está associado à necessidade de aplicação de mais investigação sobre o cenário para seu melhor conhecimento e compreensão.
- d) O nível de total ignorância é o extremo da escala e indica um profundo nível de incerteza sobre os resultados e suas probabilidades o que inclui até a falta de conhecimento do quanto se precisa conhecer sobre o cenário.

Quanto aos níveis de incertezas em níveis contextuais de um sistema sensível ao contexto, McKeever (2008) considera que para cada nível do sistema sensível ao contexto (Situação, Fatos contextuais e Fonte de dados) existe uma medida de incerteza relacionada, conforme apresentado na Figura 7.

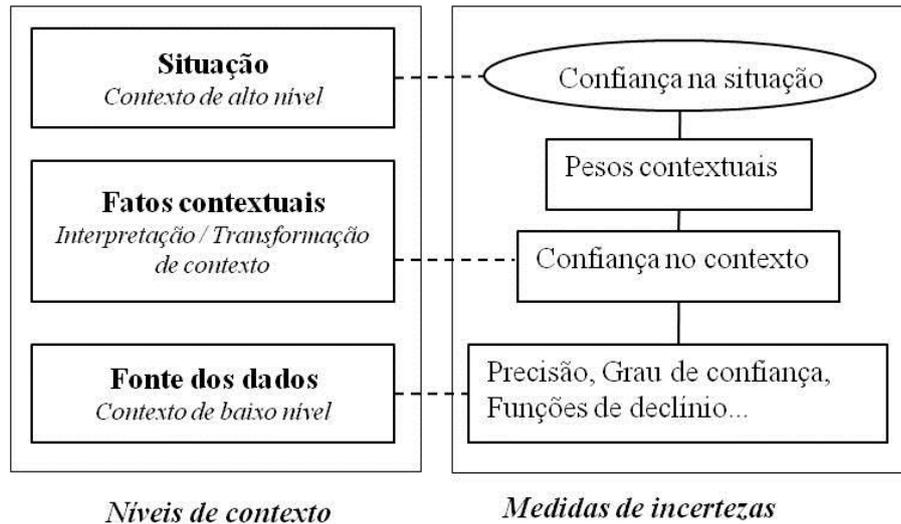


Figura 7: Medidas de incerteza associadas aos níveis de contexto (Adaptada de MCKEEVER, 2008).

A partir dessas iniciativas foi possível propor uma classificação inicial para informações incertas em sistemas de monitoramento remoto da saúde. Essa classificação está associada aos parâmetros observados e seus respectivos níveis conceituais.

2.4.2 Características de sensores que podem indicar incertezas

Dentre as características de sensores que podem indicar possíveis níveis de incerteza Thebas (2009) destaca: sensibilidade, faixa de medição, resolução e exatidão.

a) Sensibilidade

Para Thebas (2009), essa característica descreve que a sensibilidade é a relação entre o sinal elétrico de saída e a variação da grandeza física medida. Por exemplo, em um termômetro a coluna de mercúrio ascende ou descende quando é estimulada pela sensibilidade. Essa variação, estimulada, da coluna dá a sensibilidade do termômetro, se varia, por exemplo, um centímetro a cada grau centígrado.

b) Faixa de Medição (*Range*)

Faixa de medição ou *range* é definida como todos os níveis de amplitude da grandeza física medida, nas quais se supõe que o sensor pode operar dentro da

precisão especificada. Exemplo: um sensor de pressão pode ser fabricado para operar de 60 mmHg⁵ até 300 mmHg (THEBAS, 2009, p.6).

c) Resolução

Thebas (2009) define a resolução como o menor incremento do estímulo medido que provoca uma mudança no sinal de saída do sensor. Exemplo: um sensor de temperatura com resolução de 0,1 °C, o sensor só dará resposta desse sinal em 0,1°C em 0,1°C, não podendo dar alguma resposta intermediária.

d) Exatidão ou Erro

Segundo Barroso, Araújo, et. al. (2008), dada uma grandeza física a ser medida, exatidão é “a diferença absoluta entre o valor real do sinal de saída entregue pelo sensor e o sinal ideal que este deveria fornecer para esse valor de grandeza física.” Os autores acrescentam ainda que esse erro pode ser representado em percentual, dividindo essa diferença pela faixa.

2.5 Tratamento das informações incertas

Entende-se que o tratamento das informações incertas, em sistemas de monitoramento da saúde humana, deve atentar para dois aspectos. O primeiro relaciona-se com a identificação do tipo e origem das informações incertas, o segundo diz respeito ao raciocínio sobre essa informação incerta.

A identificação da origem da informação incerta dá-se pela observação e análise dos tipos de dados coletados, e dos tipos de sensores relacionados responsáveis por essa tarefa. Para tanto, tem-se que a identificação e especificação dos elementos, que caracterizam os dados e os tipos de sensores como incertos devem ser conhecidos e mapeados.

Quanto ao raciocínio sobre contextos incertos, duas propostas têm sido amplamente pesquisadas. 1) A melhoria da qualidade da informação de contexto e, 2) A inferência de novos tipos de informação de contexto.

- 1) O raciocínio, para melhorar a qualidade do contexto de informação, apresenta tipicamente a forma de fusão de multissensores, onde dados são originados de diferentes sensores e usados para aumentar a confiança, a resolução e/ou qualquer outra métrica de qualidade de contexto.

⁵mmHg - Milímetros de mercúrio – medida usada na aferição da pressão.

2) O raciocínio, com a proposta de inferir novas informações contextuais, apresenta tipicamente a forma de dedução de contextos ou situações de altos níveis. Um exemplo destes é a inferência da atividade de um usuário, a partir de um contexto de baixo nível, como a sua localização dentro de sua residência ou local de trabalho.

Uma vez que existe dificuldade no raciocínio diretamente sobre contextos de alto nível, a esses contextos podem ser associados com certos níveis de incertezas, dependendo tanto da acurácia da informação obtida quanto da precisão do processo de dedução.

Diferentes abordagens têm sido usadas para o raciocínio sobre informações de contexto incerto. Dentre as quais se destacam a lógica Fuzzy, a lógica probabilística, as redes Bayesianas, o modelo de fatores de certeza e a teoria da evidência de Dempster-Shafer (DEMPSTER, 2008).

i. Lógica Fuzzy

Na lógica Fuzzy, valores de confiança representam graus de adesão ao invés de probabilidade. A lógica Fuzzy é útil na captura e representação de noções imprecisas tais como “alto”, “fiel” e “confiável” e raciocinar sobre eles. Os elementos de dois ou mais conjuntos Fuzzy podem ser combinados para criar um novo conjunto Fuzzy, com sua própria função de associação. São exemplos de operações Fuzzy a intersecção, a união o complemento e a modificação.

A lógica Fuzzy também é adequada para a descrição de contextos subjetivos, desempenhando a fusão multissensorial desses contextos subjetivos e resolvendo potenciais conflitos entre diferentes contextos.

ii. Lógica Probabilística

A lógica probabilística permite criar afirmações às quais são associadas probabilidades. Permite que sejam escritas regras sobre a probabilidade dos eventos, em termos de probabilidades de outros eventos relatados. Essas regras podem ser usadas tanto para melhorar a qualidade da informação de contexto, através da fusão multissensorial, quanto para derivar contextos probabilísticos de alto nível (ou de nível superior).

As regras também podem ser usadas para resolver conflitos entre a informação contextual obtida de diferentes fontes (quando diferentes modalidades de localização percebidas fornecem diferentes localizações para a mesma entidade).

Várias regras de linguagens como Prolog podem ser usadas para raciocinar sobre essas regras.

iii. Redes Bayesianas

As redes Bayesianas são gráficos acíclicos direcionados, onde os nós são variáveis randômicas que representam vários eventos e os arcos entre os nós representam relacionamentos causais.

A principal propriedade das redes Bayesianas é que a distribuição conjunta de um conjunto de variáveis pode ser escrita como o produto de distribuições locais de nós correspondentes e os seus pais. As redes Bayesianas são particularmente eficientes na representação e armazenamento de probabilidades condicionais, se as dependências na distribuição conjunta são esparsas.

Para Gu (2004), em geral, as redes bayesianas são bem adequadas para a combinação de informação incerta originada de um grande número de fontes e dedução de contextos de nível superior.

iv. Modelo de Fatores de Certeza

O Modelo de Fatores de Certeza (MFC) é um modelo para gerenciamento de incertezas em sistemas baseados em regras e tem sido estudado desde 1970, quando foi aplicado no sistema especialista MYCIN para o diagnóstico e tratamento da meningite (HECKERMAN, 1986).

v. Teoria de Dempster Shafer

A teoria de Dempster-Shafer é uma teoria de evidência matemática baseada em funções confiáveis e raciocínio plausível, que é usada para combinar peças separadas de informações (denominadas evidências) para calcular a probabilidade de um evento.

A TDS é frequentemente usada como um método de fusão dos dados capturados por sensores, através da obtenção de níveis de confiança quando eles são baseados em itens de evidência independentes (Nakamura, 2007; VILLANUEVA, 2009; BITENCORT JUNIOR, 2008). Neste sentido, o conceito de fusão de sensores diz respeito à capacidade que os nodos sensores da rede possuem de reunir os dados coletados (VILLANUEVA, 2009).

A teoria de DS tem sido aplicada como método inteligente para fusão de dados qualitativos em conjunto com métodos Inteligentes e Híbridos baseados na extração e ponderação do conhecimento qualitativo (BITENCORT JUNIOR, 2008).

Nesta pesquisa, a Teoria da Evidência de Dempster-Shafer é considerada o principal conceito envolvido, juntamente com o Modelo de Fatores de Certeza. A decisão em usar TDS baseou-se na característica das incertezas que permeiam o próprio diagnóstico médico, no qual cada evidência inserida no espaço de estudo, pode confirmar ou descartar a(s) hipótese(s) selecionada(s) ou ainda dizer respeito a uma hipótese não considerada.

A decisão em empregar a teoria de DS deu-se após a realização de três experimentos empregando lógica Fuzzy, redes bayesianas e teoria de DS. Tal experimento teve como objetivo analisar o comportamento desses conhecimentos frente às informações contextuais. Detalhamento sobre tal experimento é descrito no Apêndice A.

O emprego do MFC é feito como elemento auxiliar nos cálculos das massas de probabilidade que são associadas às evidências consideradas nos experimentos. Mais detalhes sobre esses conceitos são apresentados nas próximas seções e seus empregos no processo de análise de incerteza são descritos no Capítulo 4.

2.6 A Teoria de Dempster-Shafer

A teoria de DS está baseada no trabalho de Dempster nos anos 1960 e Shafer em 1970 (DEMPSTER, 2008). É usada para combinar regras de vários termos de evidências independentes, relacionadas a uma variável ou objeto.

Essa teoria tem sido usada no raciocínio sobre contexto devido a sua capacidade matemática para representar incertezas. Trata-se de uma teoria de evidência matemática baseada em funções confiáveis, usada para combinar peças separadas de informações (evidências) para calcular a probabilidade de um evento.

No raciocínio sobre contexto, a TDS vem sendo usada como um método de fusão de sensores, através da obtenção de níveis de confiança quando eles são baseados em itens de evidência independentes (BETTINI, 2010).

De maneira geral, o funcionamento da teoria de Dempster-Shafer baseia-se na definição do intervalo de crença (IC) em alguma hipótese do conjunto de hipóteses, ditas possíveis, a partir da análise das evidências fornecidas ao longo da observação. A essas evidências são associadas massas que permitem o cálculo do IC.

No cenário médico, um conjunto hipóteses poderia, por exemplo, considerar os seguintes diagnósticos {bronquite, pneumonia, alergia}, enquanto que as

evidências seriam todos os sintomas relatados pelo paciente e ponderados pelo(s) médico(s) à medida que estes fossem informados.

Com a aplicação de TDS, é possível, a partir do cálculo de IC, saber qual a hipótese mais possível ou ainda se a esta hipótese não faz parte do domínio em questão.

São elementos fundamentais desta teoria [(SILVA, 1999), (DEMPSTER, 2008)]:

a) Quadro de discernimento

A Teoria de Dempster-Shafer pressupõe a existência de um conjunto de hipóteses primitivas, atômicas, chamado “ambiente”, “meio”, “domínio do problema”, “universo de discurso”, ou “quadro de discernimento”; sendo esse conjunto denotado por Θ .

O “quadro de discernimento” deve:

- Ser exaustivo, no sentido de ser completo, contendo todas as possíveis soluções primitivas (atômicas) para o problema ou questão.
- Possuir elementos primitivos mutuamente exclusivos.

Cada subconjunto de Θ , formado pela disjunção de seus elementos, pode ser interpretado como uma possível nova hipótese, dando origem a $2^{|\Theta|}$ possíveis hipóteses. Entretanto, considerando-se um determinado domínio, é usual que nem todos os subconjuntos sejam de interesse.

Uma vez que os elementos são mutuamente exclusivos e o meio exaustivo, pode existir somente um subconjunto com a resposta correta.

Na figura 10, tem-se o exemplo do conjunto Θ das hipóteses primitivas gerando um quadro de discernimento de $2^{|\Theta|}$ possíveis hipóteses onde $\Theta = \{\text{idoso, jovem, criança}\}$, sendo que em um determinado domínio apenas alguns subconjuntos de $2^{|\Theta|}$ serão de interesse.

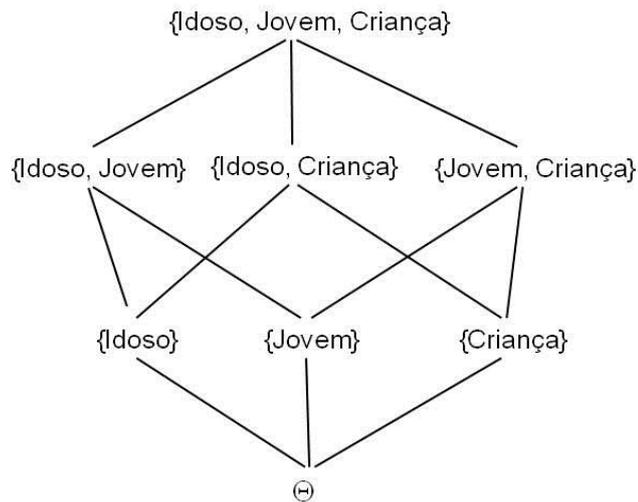


Figura 8: Conjunto de todas as hipóteses do conjunto $\Theta = \{\text{Idoso, Jovem, Criança}\}$.

b) Função de atribuição de probabilidade básica ou função de massa

A Teoria de Dempster-Shafer utiliza uma função de atribuição básica de probabilidade⁶, também conhecida como “massa básica de crença”, ou “função de massa”, para atribuir uma quantidade de crença aos elementos do quadro de discernimento.

Essa função ou massa é a função m que mapeia os 2^{Θ} elementos do conjunto potência $P(\Theta)$ ao intervalo $[0,1]$, ou seja, para uma hipótese ou proposição (θ) que representa algum subconjunto das possibilidades contidas no quadro de discernimento, $m(\theta) \in [0,1]$ representa o grau de crença exata e garantida, que é atribuída à possibilidade θ .

$$m: P(\Theta) \rightarrow [0,1] \tag{1}$$

Por definição, a massa atribuída ao conjunto vazio $m(\emptyset)$ é nula.

$$m(\emptyset) = 0 \tag{2}$$

E, a soma de todas as massas de cada subconjunto θ , do conjunto de potência, é 1 (um).

$$\sum_{\theta \subseteq \Theta} m(\theta) = 1$$

⁶ Apesar do termo “atribuição básica de probabilidade”, não está se referindo, em geral, à probabilidade no sentido tradicional, mas sim, no sentido de “crença”.

(3)

Essa função representa a quantidade total de crença na evidência, que aponta exatamente para um determinado conjunto de hipóteses e, como é probabilidade, varia entre 0 e 1.

A quantidade $m(A)$ é a medida daquela parte da crença total, que é atribuída exclusivamente a A , onde A é qualquer elemento de 2^Θ e a crença total sendo 1. Essa parte da crença $m(A)$, não pode ser subdividida, posteriormente, entre os subconjuntos de A e não inclui parte da crença atribuída a subconjuntos de A . Formalmente, se Θ é um domínio de problema, então $m: 2^\Theta \rightarrow [0,1]$ é chamada de atribuição básica de probabilidade se satisfaz:

$$m(\emptyset) = 0 \tag{4}$$

$$m(A) \geq 0, \forall A \in 2^\Theta \tag{5}$$

$$\sum m(A) = 1, A \in 2^\Theta \tag{6}$$

c) Elemento Focal

Todo subconjunto θ que tem crença na evidência não nula, $m(\theta) > 0$, é denominado *elemento focal*. A atribuição de crença ao conjunto universo $m(\Theta)$, representa a incerteza residual do domínio.

d) Função de crença

A “Função de Crença”, ou “Função de Credibilidade”, Bel , mede o quanto as informações fornecidas por uma fonte sustentam um determinado elemento do domínio.

A função bel correspondente a uma determinada função de atribuição de probabilidade m , que atribui a todo subconjunto A de Θ , a soma das probabilidades básicas atribuídas a todo subconjunto de A , por m .

A quantia $m(A)$ mede a crença que se atribui exatamente a A e não o total de crença que se atribui a A . Para se obter o total de crença atribuído a A , deve-se adicionar à $m(A)$ os valores $m(B)$, para todo subconjunto próprio B de A .

O suporte (Bel) para uma proposição θ é definido como a massa total atribuída a θ e a todos seus subconjuntos, significando a crença total em θ , ou seja, a crença é toda a massa que suporta um conjunto.

$$Bel: 2^\Theta \rightarrow [0,1]$$

(7)

$$Bel(A) = \sum_{\beta \subseteq A} m(\beta)$$

(8)

A função crença é calculada pela eq. (4), onde *Bel* representa a crença total na proposição θ , ou seja, a crença de que a possibilidade desejada (ou mais próxima da desejada) está no conjunto θ .

e) Função Plausibilidade

A “Função de Plausibilidade”, *PI*, mede o quanto as informações dadas por uma fonte não contradizem um determinado elemento, *A*, como sendo a resposta correta; ou, dito de outra forma, o quanto se pode acreditar em um dado elemento, *A*, como sendo a resposta correta, se toda a crença correntemente desconhecida for atribuída a ele, ou ainda, a quantidade máxima de crença que pode ser atribuída a *A*.

$$PI: 2^\theta \rightarrow [0,1]$$

(9)

$$PI(A) = \sum_{B \cap A \neq \emptyset} m(B)$$

(10)

$$Bel(A) \leq PI(A) | A \subseteq \theta$$

(11)

$$PI(A) = 1 - Bel(A')$$

(12)

Onde A' é o complemento de *A*.

A função Plausibilidade (*PIs*) de uma proposição (θ) é definida como um menos a crença atribuída ao complemento da proposição θ , ver eq. (12).

Onde $-\theta$ é o complemento do conjunto θ .

Na teoria de Dempster-Shafer, atribui-se massa apenas àqueles subconjuntos do ambiente para os quais se quer atribuir crença. Qualquer crença que não é atribuída a um subconjunto específico é considerada como *não crença*, sendo associada apenas com o ambiente como um todo, ($m(\Theta)$), e sendo diferente de *descrença* que é a crença que refuta uma hipótese.

f) Regra de combinação

Supondo dois subconjuntos θ_1 e θ_2 , com massas $m_1(\theta_1)$ e $m_2(\theta_2)$, um terceiro subconjunto evidência pode resultar da combinação destas massas atribuídas, cuja crença é dada pela equação:

$$m_1 \oplus m_2(\theta_3) = \sum_{\theta_1 \cap \theta_2 = \theta_3} m_1(\theta_1)m_2(\theta_2) \quad (13)$$

Na eq. (13) o somatório se estende sobre todos os elementos do conjunto potência $P(\Theta)$ cuja interseção $\theta_1 \cap \theta_2 = \theta_3$. O operador \oplus significa a soma ortogonal ou soma direta, definida como a soma dos produtos das massas de θ_1 e θ_2 , onde a interseção é diferente de vazio. A regra na eq. (13) combina as massas, possivelmente pondo evidências em conflito, resultando, portanto em uma crença sobre uma hipótese consensual, representada pela interseção dos subconjuntos.

A eq. (13), entretanto, pode resultar em uma massa combinada cujo valor é inferior a 1 (um), contrariando a restrição em eq. (3). Para evitar isto, se faz a normalização das crenças por 1 (um) menos a quantidade de conflito evidencial K (Giarratano e Riely, 1994; Xu e Kennes, 1994 Apud Silva, 1999) definida por:

$$K = \sum_{\theta_1 \cap \theta_2 = \emptyset} m_1(\theta_1)m_2(\theta_2) \quad (14)$$

Portanto, a regra de combinação de Dempster na forma geral é:

$$m_1 \oplus m_2(\theta_3) = \frac{\sum_{\theta_1 \cap \theta_2 = \theta_3} m_1(\theta_1)m_2(\theta_2)}{1 - k} \quad (15)$$

g) Intervalo de Crença ou intervalo evidencial

Uma vez que PI indica o quanto é possível acreditar em uma determinada hipótese, e Bel a crença atual, e considerando-se que $Bel(A) \leq P I(A)$, pode-se expressar a crença contida na hipótese A por um intervalo, o “intervalo de crença”, I (A)

$$IC(A) = [Bel(A); PI(A)] \quad (16)$$

Esse intervalo exprime a faixa de probabilidades na qual é possível acreditarmos na hipótese A, sem incorrer em graves erros de suposição; sendo tão mais amplo, quanto maior for a incerteza sobre a crença em A.

As eq. (8) e eq. (12) são usadas para definir o conceito de intervalo evidencial $[Bel, Pls]$ na teoria de Dempster-Shafer, cuja faixa de variação é $0 \leq Bel \leq Pls \leq 1$ onde os limites inferior e superior são algumas vezes denominados probabilidades inferior e superior, com base no trabalho de Dempster (Giarratano e Riley, 1994; Smets, 1994 Apud Silva, 1999).

O quadro 6 apresenta os intervalos de evidências comuns.

Intervalo de Confiança (IC)	Significado
[1,1]	Totalmente verdade
[0,0]	Totalmente falso
[0,1]	Totalmente ignorante
$[Bel, 1]$ onde $0 < Bel < 1$	Tende a suportar
$[0, Pls]$ onde $0 < Pls < 1$	Tende a refutar
$[Bel, Pls]$ onde $0 < Bel \leq Pls < 1$	Tende a suportar e refutar

Quadro 6: Intervalos de Evidências Comuns
Fonte: Giarratano e Riley, 1994 Apud Silva 1999.

O intervalo de crença – IC - , de crença total e plausibilidade $[Bel, Pls]$, também podem ser expressos como o intervalo: [evidência para suportar, evidência para suportar + ignorância]. Onde a ignorância é calcula por:

$$Igr(\theta) = Pls(\theta) - Bel(\theta) \quad (17)$$

Outra medida definida a partir da crença e da plausibilidade em uma hipótese é a dúvida (Dbt) (Giarratano e Riley, 1994 Apud Silva 1999). Que pode ser calculada pela equação:

$$Dbt(\theta) = Bel(-\theta) = 1 - Pls(\theta) \quad (18)$$

A Teoria de Dempster-Shafer foi empregada no processo de análise de incertezas contextuais, presentes no monitoramento da saúde humana através de sensores, como elemento fundamental para o estudo dos dados capturados através dos sensores, denominados de evidências, e na definição da hipótese mais possível dentro do domínio Θ envolvido.

2.7 Modelo de Fatores de Certeza

Este modelo foi desenvolvido em 1975 por Shortliffe e Buchanan e empregado no sistema especialista MYCIN dedicado ao diagnóstico e tratamento da meningite e infecções do sangue. Desde então, esse modelo se tornou uma abordagem padrão no tratamento de incertezas em sistemas baseados em regras (HECKERMAN, 1986).

O Modelo de Fator de Certeza inclui hipóteses mutuamente exclusivas e exaustivas e evidências condicionalmente independentes que são associadas a cada hipótese. Basicamente esse modelo funciona em sistemas baseados em regras do tipo “IF e THEN *h*” onde o “e” representa uma evidência ou parte dela para uma hipótese “*h*”.

Com o emprego do MFC, o especialista representa sua incerteza em uma regra através do emprego de um Fator de Certeza (FC) a cada regra. O FC representa a crença que uma pessoa (um especialista) tem em uma hipótese dada uma evidência.

Entende-se, no entanto, que ao contrário de uma probabilidade, um fator de certeza não representa o grau absoluto de crença que uma pessoa tem sobre uma hipótese *h* dada uma evidência *e*.

Na formalização do conhecimento acerca do Modelo de Fatores de Certeza, Fonseca (1999) destaca que a elaboração de regras em sistemas baseados em regras pode ser representada como uma implicação lógica de uma hipótese/conclusão *Y* dada uma evidência/premissa *X*, podendo ser expressa pela expressão:

$$\textit{if } X \textit{ then } Y \textit{ ou } X \rightarrow Y \tag{19}$$

Onde a evidência *X* pode ser composta por uma simples proposição ou uma conjunção, disjunção ou negação de um grupo de proposições.

No MFC, é possível atribuir confiança em determinada evidência ou hipótese através da associação de um fator de certeza (CF – Certainty Factor).

Cada FC é uma medida da crença ou descrença, tomando valores entre -1 e 1 ($-1 \leq FC \leq 1$), onde $FC = 1$ corresponde à crença absoluta, $FC = -1$ corresponde a uma descrença total e $FC = 0$ corresponde a um peso idêntico entre crença e descrença, conforme destaca a Figura 11.

Falso	Possivelmente Falso	Desconhecido	Possivelmente verdadeiro	Verdadeiro
-1		0		1
Medidas de descrença			Medidas de crença	

Figura 9: Intervalo de Fatores de Certeza
Fonte: (HECKERMAN, 1986).

A cada evidência X está associado um FC que se pode expressar como $FC[X]$. Onde $(FC[X])$ é inicialmente conhecido ou assume-se que é igual a 0.

Dado um conjunto de regras \mathcal{R} de um sistema, cada regra $r_i \in \mathcal{R}$ e seu associado FC são expressos por:

$$r_i: X \rightarrow Y \text{ com } (FC_i[X]) \quad (20)$$

O FC da premissa X em r_i pode ser definido como:

$$FC_i[X] = \begin{cases} FC[X] & \text{Se } X = X_1 \\ \min(FC[X_i], \dots, FC[X_n]) & \text{Se } X = X_1 \wedge \dots \wedge X_n \\ \max(FC[X_i], \dots, FC[X_n]) & \text{Se } X = X_1 \vee \dots \vee X_n \\ -FC[\bar{X}] & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (21)$$

Onde cada X_i é uma proposição em X .

O FC da conclusão Y em r_i pode ser determinado usando:

$$FC_i[Y] = \begin{cases} -FC[X] \times FC_i[X, Y], & \text{se ambos os FC's } < 0 \\ FC[Y] \times FC_i[X, Y], & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (22)$$

Onde, $FC_i[X, Y] = FC_i[Y]$, se r_i for chamada e $FC_i[X] = 1$.

Se existir apenas uma regra r_y , para a qual uma proposição desconhecida Y é a sua conclusão, então $FC[Y] = FC_y[Y]$.

Se existir mais que uma regra, então $FC[Y]$ é determinado pela combinação de todos os $FC_i[Y]$'s das regras r_i para as quais Y é a sua conclusão.

Seja

$$\mathcal{R}_y = \{r_i: x \rightarrow y \in \mathcal{R} | FC[X] \neq 0 \text{ e } y = Y\} \quad (23)$$

um conjunto de regras com premissas conhecidas e Y a sua conclusão.

Dadas $N = |\mathcal{R}_y|$ o número de regras,

$$FC[Y] = FC[Y]_{j=N} \quad (24)$$

Onde para todos os $r_i \in \mathcal{R}_y$, $FC[y]_0 = 0$, e

$$FC_i[X] = \left\{ \begin{array}{ll} FC[Y]_{j-1} + FC_i[Y]x(1 - FC[Y]_{j-1}) & \text{quando ambos os FCs} > 0 \\ FC[Y]_{j-1} + FC_i[Y]x(1 + FC[Y]_{j-1}) & \text{quando ambos os FCs} < 0 \\ \frac{FC[Y]_j + FC_i[Y]}{1 - \min(FC[Y]_j, FC_i[Y])} & \end{array} \right. \quad (25)$$

Para $j=1$ até N .

No Quadro 8 são destacados valores e significados para os Fatores de certeza (HECKERMAN, 1986).

Valores assumidos	Significados
-1.0	Não
-0.8	Quase certo que não
-0.6	Provavelmente não
-0.4	Talvez não
-0.2 até 0.2	Desconhecido
0.4	Talvez sim
0.6	Provavelmente sim
0.8	Quase certo que sim
1.0	Sim

Quadro 7: Valores para os fatores de certezas e seus significados
Fonte: (HECKERMAN, 1986)

Os fatores de certeza foram empregados no processo de análise de incertezas contextuais, presentes no monitoramento da saúde humana através de sensores, como elemento importante no cálculo das massas probabilísticas associadas a cada evidência e a cada regra especialista. Os cálculos do MFC são acionados a cada inclusão de nova evidência

2.8 Comentários sobre o capítulo

Por ser esta uma pesquisa multidisciplinar, diversos conceitos estão relacionados e são importantes para compreensão do cenário de estudo. Neste sentido, este capítulo descreveu os termos básicos relacionados nessa investigação. Foram abordados os principais conceitos empregados na elaboração do processo

de análise de incertezas, a teoria de Dempster-Shafer e o Modelo de Fatores de Certezas. O Capítulo 3 fornecerá informações acerca do monitoramento remoto da saúde do paciente diabético e hipertenso através de sensores.

3. INCERTEZAS CONTEXTUAIS NO MONITORAMENTO DO INDIVÍDUO DIABÉTICO E HIPERTENSO.

As doenças cardiovasculares constituem a principal causa de mortalidade mórbida na população em todo o mundo, e a Hipertensão Arterial Sistêmica (HAS) e o Diabetes Mellitus (DM) constituem-se os dois principais fatores de risco que contribuem decisivamente para o agravamento deste cenário.

Tanto o diabetes quanto a hipertensão podem levar à invalidez parcial ou total do indivíduo, com graves repercussões para o paciente, sua família e a sociedade.

Quando estas enfermidades são diagnosticadas precocemente e possuem um acompanhamento eficaz, estas se mostram bastante sensíveis, oferecendo múltiplas chances de evitar complicações. Mas, se não há diagnóstico precoce ou bom tratamento, há progressão das complicações já existentes e perdas delas resultantes.

Abordar conjuntamente essas duas doenças é justificável em razão de que a associação entre estas é da ordem de cinquenta por cento, o que requer, na grande maioria dos casos, o tratamento das duas patologias num mesmo paciente.

Para esse contexto de tratamento da saúde, uma das diretivas mais indicadas é o monitoramento pontual dos níveis de glicose sanguínea e da pressão arterial, o que pode ser feito através do emprego de sistemas de monitoramento que empregam sensores, os quais se constituem, atualmente, uma possibilidade no acompanhamento dessas doenças.

Entretanto, é possível observar que no monitoramento sensível ao contexto existem diferentes tipos de incertezas associadas, tais como as incertezas associadas aos dispositivos dotados de sensores (pertencentes ao contexto de baixo nível), os quais podem quebrar ou relatar um dado de maneira errada; as incertezas associadas ao processo de interpretação de transformação de contexto, ao qual está associado um nível de confiabilidade relacionada às técnicas de raciocínio empregadas e por fim, no contexto de alto nível, que depende da confiança que o especialista tem nas informações fornecidas, para que então possa realizar a tomada de decisão (MCKEEVER, 2009).

Para o cenário de monitoramento de pacientes diabéticos e hipertensos através da tecnologia de sensores, as possibilidades de incertezas destacadas nessa pesquisa são.

- a) Dos sensores empregados na captura dos dados;
- b) Da influência mútua entre as variáveis observadas;
- c) Da transmissão/comunicação do dado à equipe médica.

O objetivo deste capítulo é apresentar um relato sobre o monitoramento do paciente diabético e hipertenso e suas características; caracterizar os principais aspectos relacionados à saúde do paciente diabético e hipertenso através de sensores e, finalmente, descrever as classes de incertezas propostas, assim como os parâmetros associados a cada uma. Assim, neste capítulo são tratadas questões relacionadas à saúde de pacientes diabéticos e hipertensos, na Seção 3.2; na Seção 3.3 são tratadas questões relacionadas ao monitoramento do pacientes hipertensos e diabéticos com o uso de sensores; finalmente, na seção 3.4 são apresentadas as classes propostas para as incertezas contextuais presentes no monitoramento do paciente diabético e hipertenso através de sensores.

3.1 A saúde do paciente diabético e hipertenso.

Segundo Queiroz et. al. (2010), as doenças crônicas são definidas como doenças que acompanham os indivíduos por longo período de tempo, podendo apresentar momentos de piora ou melhora.

Dentre as doenças crônicas com maior índice de incidência na população destacam o Diabetes Mellitus e a hipertensão arterial, que comumente caminham juntas, tornando de extrema importância o monitoramento do quadro clínico do paciente diabético e hipertenso, para que o mesmo goze de uma vida mais saudável possível.

A hipertensão afeta de 11 a 20% da população adulta com mais de 20 anos. Cerca de 85% dos pacientes com acidente vascular encefálico (AVE) e 40% das vítimas de infarto do miocárdio apresentam hipertensão associada (BRASIL, 2001).

O diabetes atinge todas as faixas etárias sem qualquer distinção de raça, sexo ou condições socioeconômicas. Na população adulta, sua prevalência é de 7,6%.

a) Diabetes Mellitus (DM)

O Diabetes Mellitus (DM) é uma doença crônica caracterizada por elevada taxa de glicose (açúcar) no sangue e pela ausência parcial ou total de insulina, que é o hormônio responsável pela queima do açúcar. É uma doença muito frequente na população idosa, onde se destaca o diabetes mellitus tipo 2.

Essa doença cresce mais rápido em países pobres ou em desenvolvimento. No Brasil, o diabetes afeta cerca de doze por cento da população. Em 2008, dados mostram o aumento da taxa de mortalidade por diabetes em relação à taxa entre 1990 e 2006. Aumento este, que ocorreu em todas as regiões. (QUEIROZ, et. al., 2010)

Em longo prazo, a DM causa danos como disfunção e falência de vários órgãos, especialmente rins, olhos, nervos, coração e vasos sanguíneos. (QUEIROZ, et. al., 2010)

Dentre os tipos classificados pela Organização Mundial da Saúde, pode-se encontrar o tipo 1 e o tipo 2. O tipo um é caracterizado pela deficiência de insulina causada pela destruição das células beta pancreáticas. Já a DM tipo 2 está presente entre 90% - 95% dos casos e é caracterizada por defeitos na ação e secreção da insulina, podendo ocorrer em qualquer idade, mas em geral, é diagnosticada após os 40 anos. (MILECH, et. al., 2006)

O diabetes tipo 1 é considerado uma doença autoimune que ocorre quando o sistema de autodefesa do organismo ataca uma parte saudável do corpo. Nesse tipo de diabete, as células denominadas "beta" - responsáveis por sintetizar e secretar o hormônio insulina são atacadas e a insulina não é produzida e quando isso acontece o nível de glicose no sangue se acumula sem poder entrar na célula.

O excesso de glicose no sangue é uma causa direta dos sintomas clássicos da diabetes. Os rins respondem tentando eliminar o excesso de glicose, eliminando água junto com o açúcar, o que resulta em micção frequente e excessiva e, como consequência há sede intensa. Uma vez que as células não estão recebendo o alimento necessário, estas então provocam a sensação de fome, e porque as células são incapazes de usar a glicose, elas utilizam energia a partir de outras fontes como depósitos de gordura e músculo e assim a pessoa diabética começa a perder peso.

A diabetes tipo dois ocorre quando o corpo ainda produz insulina, mas em quantidade insuficiente. Esse tipo é a forma mais comum, ocorrendo em cerca de 90 por cento dos casos. A obesidade é um dos principais riscos associados ao tipo 2.

Em alguns casos o diabetes surge devido à incapacidade das células em reconhecer a molécula de insulina ajudante. O tipo 2 e o diabetes gestacional são síndromes que podem ser fortemente desencadeada a partir do peso da pessoa e seu estilo de vida.

Uma pessoa com diabetes tipo 2 ou diabetes gestacional produz insulina suficiente, mas não consegue usá-la eficazmente. O pâncreas de pessoas com diabetes tipo dois, eventualmente, diminui a produção de insulina e a pessoa vai ter os mesmos sintomas e riscos, como aqueles com diabetes tipo um. Então, sem a intervenção adequada e o diagnóstico precoce, pacientes diabéticos do tipo dois podem desenvolver complicações sérias.

Os níveis de glicose sanguínea são apresentados no Quadro 9 (SBE, 2009).

Categoria	Jejum	Duas horas após 75g de glicose	Casual
Glicemia normal	Menor que 100	Menor que 140	
Tolerância à glicose diminuída	Maior que 100 a menor que 126	Igual ou superior a 140 a menor que 200	
Diabetes mellitus	Igual ou superior a 126	Igual ou superior a 200	Igual ou superior a 200

Quadro 8: Valores de glicose plasmática (em mg/dl)

Fonte: (SBE, 2009) com adaptações.

No idoso, o diabetes habitualmente é insidioso, na maioria das vezes só é descoberto em “*check up*” ou em exames investigativos de outras doenças. Pode apresentar perda de peso, muita sede, aumento da quantidade e do volume da urina principalmente à noite, fome em excesso, fadiga fácil, debilidades visuais, formigamentos e dormência nas pernas, e sendo como um dos principais, a dificuldade de cicatrização de feridas.

b) Hipertensão Arterial Sistêmica

A hipertensão Arterial (HAS) é doença crônica caracterizada pela elevação da pressão arterial igual ou acima de 140/90 (14 por 9) (BRASIL, 2010).

Uma dúvida frequente é se hipertensão arterial é a mesma coisa que pressão alta. Ao contrário do que muitos pensam, são duas coisas diferentes. A pressão alta é a elevação da pressão arterial momentânea que pode ser causada por qualquer

alteração emocional, como uma irritação e ansiedade, voltando ao normal após a recuperação do emocional habitual. Já a hipertensão arterial é a tendência contínua da pressão arterial elevada (BRASIL, 2010).

Ainda que haja tendência da pressão arterial aumentar com a idade, o objetivo é controlar os níveis abaixo de 140/90. “Estudos demonstram que cerca de 65% dos idosos são hipertensos e que seu controle adequado reduz significativamente os ataques cardíacos e os derrames cerebrais na população idosa” (BRASIL, 2010).

A hipertensão arterial torna-se mais frequente na terceira idade devido à grande quantidade de sal ingerido diariamente. Segundo o Brasil (2010), “o sal é, sem dúvida, um dos maiores aliados da pressão alta em idosos”.

Geralmente, a hipertensão arterial, é uma doença insidiosa que não tem cura, por isso o controle é indispensável para sobrevivência do paciente e possibilita que esse goze de uma vida saudável.

As doenças cardiovasculares no Brasil são responsáveis por 33% dos óbitos com causas conhecidas. Além de terem sido a primeira causa de hospitalização no setor público, entre 1996 e 1999, e serem responsáveis por 17% das internações de pessoas com idade entre 40 e 59 anos e 29% daquelas com 60 ou mais anos (BRASIL, 2010).

A hipertensão arterial é um importante fator de risco para doenças decorrentes de aterosclerose e trombose, que se manifestam por ataque cardíaco, cerebral, renal e vascular periférico. Essas consequências colocam a hipertensão arterial como origem das doenças cardiovasculares, tornando-a como um dos motivos de maior redução da qualidade e expectativa de vida.

De acordo com as VI Diretrizes Brasileiras de Hipertensão Arterial (BRASIL, 2010), a classificação da Hipertensão Arterial é exibida no Quadro 10.

A HAS é uma doença silenciosa, que pode causar tontura, cansaço, falta de ar, pontos brilhantes nos olhos e dor de cabeça, esta geralmente localizada na nuca.

Por serem doenças crônicas, tanto a Hipertensão quanto o Diabetes podem exigir um processo de monitoramento em longo prazo, seja este contínuo ou pontual.

Classificação da pressão arterial	Pressão arterial sistólica (mmHg)	Pressão arterial diastólica (mmHg)
Ótima	<120	<80
Normal	<130	<85
Limítrofe	130-139	85-89
Estágio 1	140-159	90-99
Estágio 2	160-179 100-109	100-109
Estágio 3	≥180 ≥110	≥110
Sistólica isolada	≥140	< 90

Quadro 9: Classificação pressórica dos pacientes

Fonte: (BRASIL, 2010)

Para Jong (2002) a causa da alta pressão arterial é uma questão aberta a debate, mas os efeitos da hipertensão são bem conhecidos. A hipertensão pode colocar uma enorme pressão sobre o coração, causando muitas formas de doenças cardíacas e ataques do coração, outros casos estão relacionados aos elevados níveis de colesterol.

A elevada pressão arterial danifica a parede das artérias, tornando mais fácil o desenvolvimento do colesterol, aumentando assim, ainda mais, as chances de doença cardiovascular.

Pacientes diabéticos também fazem parte de um grupo que deve monitorar sua pressão arterial com cuidado. As chances de doenças cardíacas, acidentes vasculares cerebrais ou doença renal crescem de forma significativa em pessoas diabéticas e hipertensas. Controles alimentares são muitas vezes utilizados no tratamento de ambas as doenças.

Muitas vezes a intervenção imediata é necessária para controlar a pressão arterial, nessas circunstâncias, muitas vezes pelos medicamentos e pela eliminação de possíveis contribuintes para a hipertensão.

Além de agravar as doenças existentes como o diabetes, os riscos relacionados com a hipertensão envolvem:

- Aterosclerose: acúmulo de placas nas paredes das artérias (endurecimento das artérias).
- Encefalopatia: inchaço do cérebro que geralmente ocorre quando a hipertensão não é gerenciada em longo prazo.
- Insuficiência cardíaca congestiva: ocorre quando o coração é incapaz de esvaziar-se para que o sangue que se acumula do lado esquerdo possa fluir.
- *Danos Eye* (retinopatia hipertensiva): quando a retina é danificada devido à hipertensão de longo prazo, o que resulta em deficiência visual irreversível.

- Gota: inflamação das articulações, causada pelo acúmulo de cristais criados pelo excesso de ácido úrico, um resíduo de sangue.
- Doença renal: espessamento ou estreitamento das artérias dos rins; responsável por, pelo menos, 26% de ocorrência da doença renal terminal (DRT).
- Hemorragia no cérebro: um tipo de acidente vascular cerebral associado à hipertensão de longo prazo.
- Taquicardia: a frequência cardíaca muito rápida.

3.2 Monitoramento de pacientes diabéticos e hipertensos através de rede de sensores.

No monitoramento da saúde humana, a apresentação dos resultados deve considerar a responsabilidade do médico quanto ao diagnóstico, portanto tanto as hipóteses reais (aquelas levantadas pelos médicos) quanto aquelas visualizadas a partir da observância dos fatores de incerteza no monitoramento remoto, precisam ser apresentadas em conjunto, indicando quais os fatores as diferenciam. Cabe ao médico analisar e considerar as incertezas no diagnóstico conclusivo e fornecer orientações de tratamento do paciente.

Entende-se que no monitoramento dos níveis de glicose sanguínea e da pressão arterial, realizados através de rede de sensores, as hipóteses de diagnóstico e tratamentos são de competência única dos médicos especialistas envolvidos no sistema.

Entretanto, para o diagnóstico médico devem ser considerados tanto os dados fisiológicos quanto os comportamentais e os do ambiente externo ao paciente, uma vez que estes podem influenciar o estado de saúde do paciente.

A Figura 10 destaca um ambiente, como a residência do indivíduo. Neste cenário é possível observar a presença de sensores nos ambientes, os quais podem indicar a posição ou não do indivíduo nos cômodos. Também são relatados dados do ambiente como a temperatura, a luminosidade, e o grau de ruído entre outros. Outros sensores estão presentes em objetos, como o exemplificado em uma cama, o que pode informar se o indivíduo está ou não sobre esta, pois indica a pressão sobre a mesma. Ainda nesse cenário são representados sensores ligados ao próprio indivíduo (no contexto dessa pesquisa os sensores considerados são do tipo não invasivos) coletando seus dados fisiológicos.

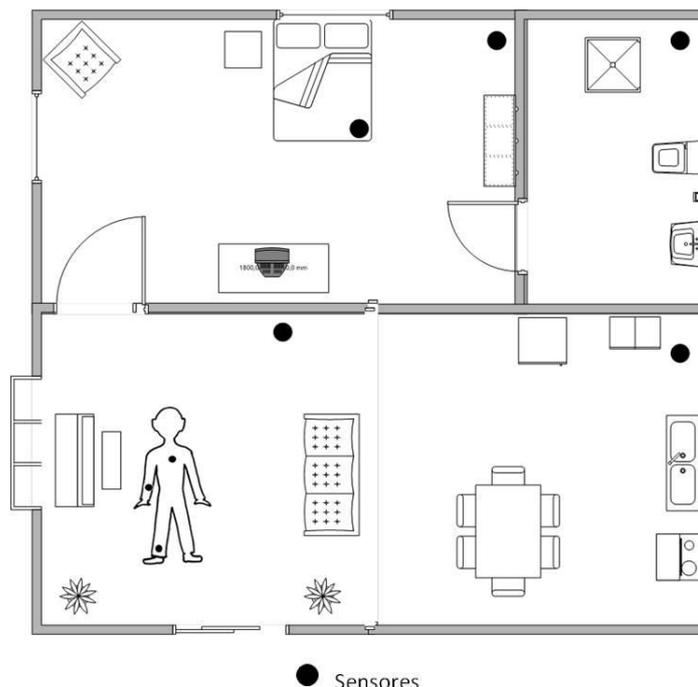


Figura 10: Monitoramento através de sensores

Além disso, no monitoramento da saúde através de sensores, o elemento temporal também é considerado, este elemento é representado pelos dados de histórico do paciente. A importância desse dado dá-se pela possibilidade da equipe médica realizar conexões entre o estado atual do paciente e seu histórico clínico-familiar, dependendo de cada patologia em investigação. No caso desse dado, se um paciente possui em seu histórico familiar a existência de parentes com diabetes, por exemplo, a possibilidade deste também a possuir é maior do que a de alguém que não possui nenhum antecedente com o diabetes.

Assim, os dados considerados no monitoramento da saúde do paciente diabético e hipertenso neste trabalho são:

- Nível de glicose sanguínea: esse dado indica o nível de glicose no sangue do indivíduo é coletado através do sensor denominado glicômetro ou glicosímetro.
- Pressão arterial sistólica e diastólica: são dados coletados através de sensor de pressão arterial que dizem respeito aos níveis da pressão arterial sistólica e diastólica do indivíduo monitorado.
- Movimentação humana: esse dado está relacionado com o status da movimentação do paciente em monitoramento, fornecendo informações acerca de seu comportamento, se está em movimento, parado entre

outros. São dados coletados através de acelerômetro e possibilitam ao médico analisar, por exemplo, se o paciente é sedentário, o que pode influenciar no diabetes, ou ainda se este pratica algum exercício.

- Temperatura ambiente: esse dado diz respeito à temperatura do ambiente no qual o paciente se encontra. É coletada através de sensores de temperatura externa e são importantes elementos para o diagnóstico médico no sentido de concluir se a pressão arterial do paciente está sendo ou não influenciada pelo calor ou frio.

Outros dados também podem ser considerados para este tipo de monitoramento, mas a preferência por estes dados deu-se em função da observação que se desejava do paciente e pela disponibilidade destes.

Por ser este monitoramento baseado na tecnologia de rede de sensores, cada um dos sensores, que monitoram a condição do paciente hipertenso e diabético, também possuem características próprias, tais como: nível de sensibilidade, faixa de medição, resolução e nível de precisão.

Essas características podem indicar importantes informações acerca do funcionamento de cada um dos sensores envolvidos na pesquisa, daí a necessidade de investigá-los e observar a relação destas características com as informações repassadas às equipes de especialistas.

A seguir a descrição de alguns sensores que podem ser empregados no monitoramento do paciente diabético e hipertenso.

3.3 Incertezas contextuais presentes no monitoramento do paciente diabético e hipertenso através de sensores

Nesta pesquisa considera-se que cada sensor captura dados e os envia para uma estação localizada na residência do paciente. Cada dado capturado pelos diferentes sensores é considerado uma evidência e o conjunto dessas evidências é considerado na formação das hipóteses.

Para cada evidência observada, questionamentos acerca dos elementos que podem gerar incertezas podem ser elaborados. Por exemplo, a um glicosímetro, ao computar 120 mg/dL, é possível relacionar pelo menos um questionamento: *Qual a taxa de precisão do dispositivo/sensor empregado na captura deste dado?* Neste caso, a taxa de precisão seria o elemento considerado como possível incerteza a ser estudada.

Então, para cada evidência é necessário considerar o tipo de incerteza associado. No caso dos sensores, os aspectos técnicos informados pelos fabricantes destes denunciam possíveis fontes de incertezas, como pode ser observado no Quadro 6, que destaca os tipos de incertezas inerentes a alguns tipos de sensores empregados em monitoramento. Além deste tipo de incerteza, ainda há aquelas originadas da interação entre as variáveis (relacionadas ao ambiente externo, ao comportamento do paciente e sua fisiologia) e aquelas decorrentes da transmissão das informações capturadas e tratadas até o responsável médico.

Consideram-se como requisitos, a capacidade em lidar com as incertezas inerentes ao dado obtido, a sua interação com outros dados e a sua transmissão entre o ponto de origem e o destino final.

As incertezas inerentes ao dado obtido estão relacionadas com a própria característica do sensor, que é permeado por aspectos técnicos que incluem sensibilidade, faixa de medição, resolução e exatidão que variam entre os tipos de sensores, os fabricantes, e os tipos de monitoramento para o qual são destinados.

As incertezas associadas à interação entre os dados obtidos por diferentes sensores dizem respeito à capacidade que o meio ambiente, no qual o paciente está inserido e as atividades que este executa, tem em influenciar nos dados fisiológicos do paciente. Uma vez que os dados do ambiente e do comportamento do paciente estão presentes no contexto monitorado, e dele fazem parte, não é possível analisar apenas os dados das funções vitais do paciente sem considerá-los.

As incertezas relacionadas à transmissão dos dados da origem ao destino consideram questões como o tipo de segurança empregado na transmissão dos dados, a taxa de transmissão, a frequência, a latência, a taxa de perda de pacotes entre outros.

Considera-se que devido ao fato de os sistemas de monitoramento remoto da saúde empregarem sensores heterogêneos é importante que pelo menos um conjunto de parâmetros genéricos para a identificação de incertezas seja definido.

Os tipos de incertezas propostos nessa pesquisa são classificados como:

- Da transmissão/comunicação do dado: trata-se de informações como frequência, taxa de erro em entrega de pacotes, alcance, velocidade, latência, sensibilidade, itens esses que variam de acordo com a tecnologia empregada e com o contexto onde estão sendo utilizados.

- Da interação entre os dados obtidos: diz respeito à influência que as variáveis contextuais exercem umas sobre as outras, em especial a influência que as variáveis ambientais e comportamentais exercem sobre as variáveis fisiológicas.
- Dos sensores: está relacionada com a característica de cada sensor empregado no monitoramento, uma vez que dependendo do fabricante, e do tipo de material usado, informações como alcance, precisão, resolução, faixa de medição e sensibilidade podem ser diferentes entre um sensor e outro.

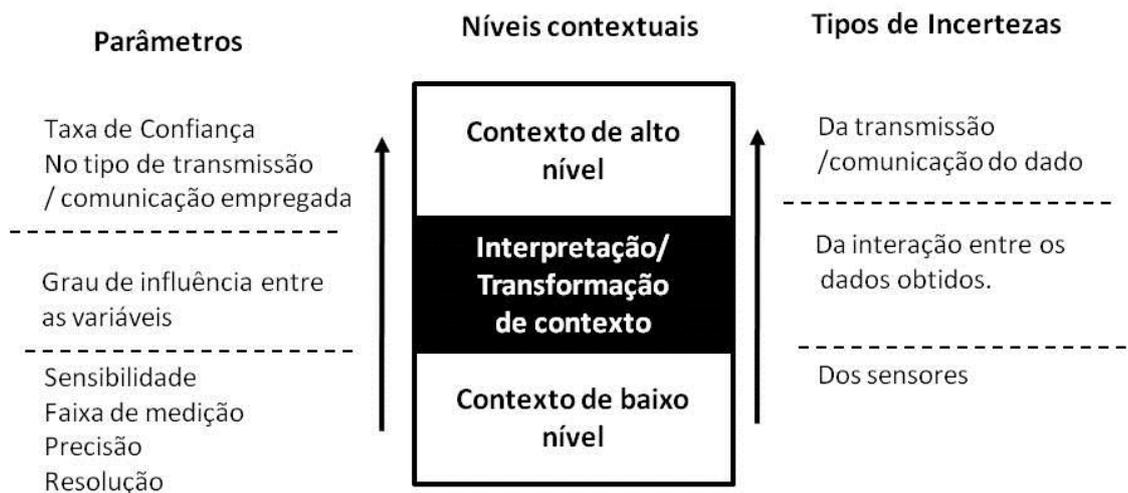
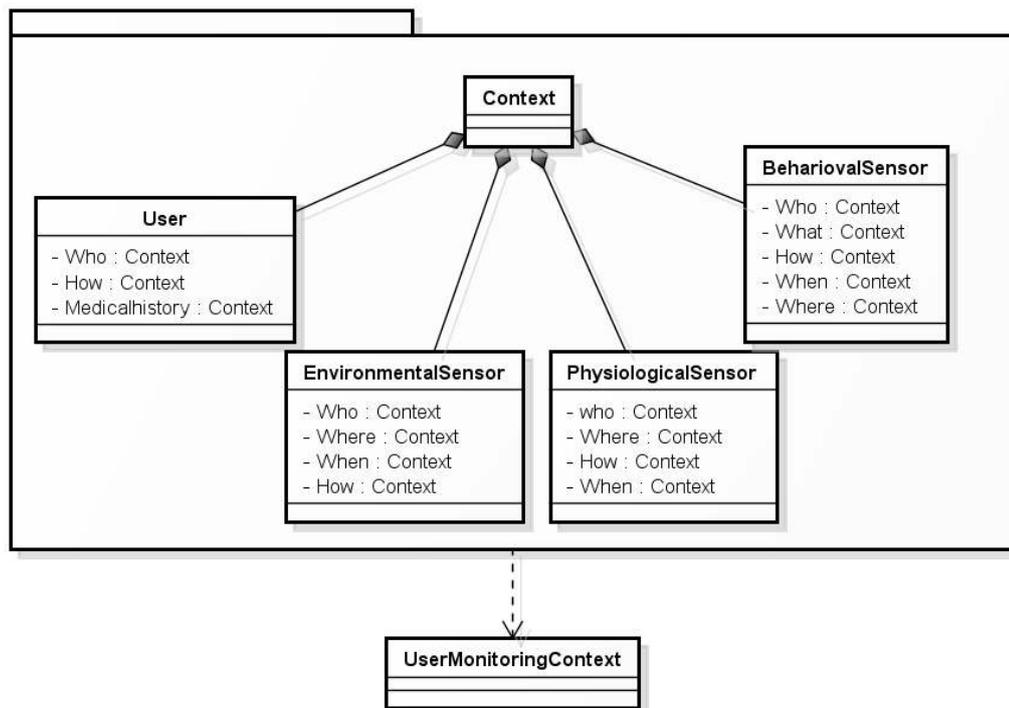


Figura 11: Parâmetros de incertezas para o Monitoramento da saúde do diabético e do hipertenso

Na Figura 11 são relacionados os parâmetros gerais que poderão ser observados, os tipos de incertezas e os níveis contextuais no monitoramento da saúde do paciente diabético e hipertenso, sendo que a escala de incertezas varia entre Incerteza Estatística e Total Ignorância.

A Figura 12 destaca as classes que compõem o contexto do paciente, e que, portanto, devem ser consideradas na análise de incertezas que pervadem o cenário de seu monitoramento através de rede de sensores. Nesta figura 12, o contexto é formado pelos dados do usuário (*User*), o que inclui o seu histórico médico, e pelos dados comportamentais, ambientais e fisiológicos, que são capturados pelos sensores *BehavioralSensor*, *EnvironmentalSensor* e *PhysiologicalSensor*.



powered by Astah

Figura 12: Classes contextuais no monitoramento da saúde humana através de sensores

A figura 13 apresenta as classes de incertezas presentes no monitoramento do paciente diabético e hipertenso através de sensores.

Existe uma relação de dependência entre os sensores empregados no monitoramento e as classes de incertezas demonstrando que estas podem influenciar nos dados capturados pelos sensores. Ainda na Figura 13, se observam as classes genéricas Comportamental, Fisiológica e Ambiental e os respectivos sensores que lhes representa neste tipo de monitoramento.

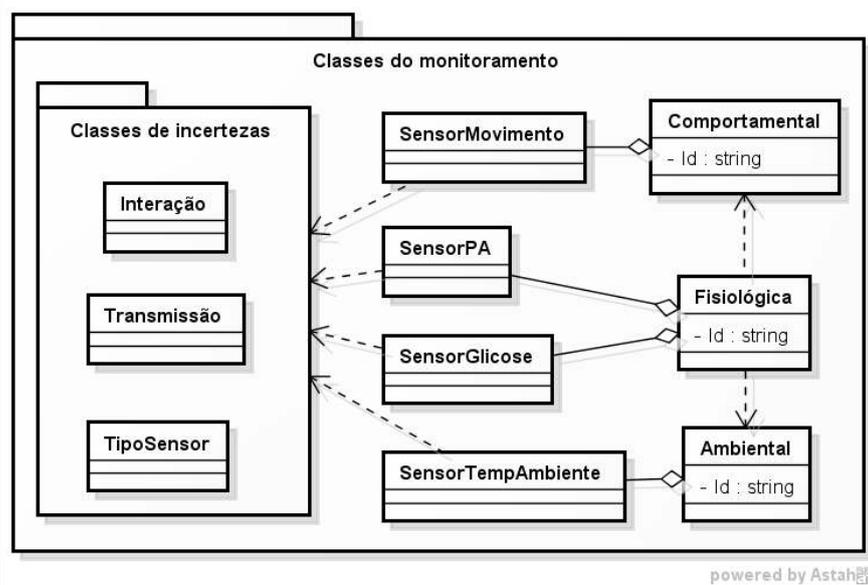


Figura 13: Classes de incertezas no monitoramento da saúde do paciente diabético e hipertenso

3.3.1 Incertezas associadas na interação entre as variáveis

Os fatores que influenciam o comportamento das variáveis envolvidas no monitoramento do paciente diabético e hipertenso são de conhecimento especialista e tiveram por base os estudos de Mion (2008) e Brasil (2001 e 2010).

São exemplos dessa interação as seguintes afirmações:

- A pressão arterial de um indivíduo pode ser alterada devido à alta temperatura ambiental.
- O comportamento de um indivíduo - suas atividades de vida diária - pode influenciar no nível de glicose sanguínea.

Tem-se que o conhecimento especialista, adotado na avaliação do paciente monitorado, é de responsabilidade exclusiva dos profissionais médicos e esta tese não tem a pretensão de fornecer quaisquer direcionamentos quanto ao diagnóstico e tratamento de pessoas dentro deste cenário. Reconhece-se que o paciente, como ser humano, necessita ser analisado por diversos contextos, como por exemplo, o social e o familiar.

3.3.2 Incertezas associadas à transmissão/comunicação dos dados.

Transmitir dados de um sensor para um sistema de monitoramento é um desafio, seja pelo alto custo envolvido ou pela complexidade das redes de comunicações. Sistemas cabeados funcionam essencialmente com sensores ligados por cabos às centrais de coletas de dados, onde esses dados são acessados em

uma central de controle. Dependendo da distância entre essas centrais, o cabeamento se torna inviável e os dados acabam sendo coletados localmente por períodos ou intervalos determinados.

Existem diversas possibilidades das redes de sensores transmitirem dados incertos. Macedo (2006) discorre sobre a existência de falhas silenciosas em RSSF o que pode influenciar na qualidade dos dados por elas manipulados o que inclui as redes de sensores em fio aplicadas no monitoramento da saúde humana. São falhas causadas por agentes e por eventos internos e externos à rede, conforme listado no Quadro 11.

Tipo de falha	Descrição	O que afetam
Fenômenos atmosféricos	São falhas ocasionadas por mudanças nas condições atmosféricas. Condições do ambiente como umidade, temperatura, entre outros, modificam a qualidade dos enlaces. Como as características do ambiente são dinâmicas, a qualidade da comunicação varia com o tempo.	Alteram a propagação do sinal, causando um aumento na taxa de erros da comunicação.
Fontes móveis de interferência	São falhas geradas por aparelhos que operam em faixas de frequência próximas às utilizadas em RSSF, veículos, animais e pessoas,	Geram interferência na comunicação, impedem o uso de mecanismos como seleção de canais com menor interferência, saltos de frequência ou troca dinâmica da técnica de modulação.
Desastres naturais	Falhas geradas por nós sensores que podem ser depositados ao ar livre ou em regiões de desastre, estando assim expostos a deslizamentos, terremotos e enchentes.	Ocorre a destruição dos nós ou a inutilização de componentes do hardware dos nós sensores.
Quebra acidental	Falhas decorrentes de sensores que podem ser destruídos acidentalmente, por exemplo, devido ao pisoteamento por animais ou à queda de árvores sobre os mesmos.	Falha em nó folha.
Bloqueio do processador	São falhas ocasionadas por software defeituoso ou mal programado, que podem bloquear o processador por tempo indeterminado, pois este nunca permite que o sistema operacional troque a tarefa em execução.	O processador fica bloqueado por um tempo finito, e em seguida retorna à operação normal.
Falhas maliciosas	São falhas decorrentes de ataques de segurança	Vulnerabilidade dos nós e da rede.
Esgotamento da bateria	São falhas que ocorrem devido o hardware limitado dos sensores; os nós sensores atuais não permitem a aferição confiável do nível atual de energia, dessa forma os nós sensores não possuem meios para identificar quando a sua energia está próxima de acabar.	Falha de comunicação

Quadro 10: Falhas causadas por agentes e por eventos internos e externos à rede

3.3.3 Incertezas associadas ao tipo de sensores.

Os sensores utilizados no acompanhamento do paciente diabético e hipertenso devem basicamente coletar dados sobre seus níveis de glicose sanguínea e sobre a pressão arterial sistólica e diastólica. Entretanto, devido à compreensão de que os dados externos podem influenciar nos valores obtidos pelos glicosímetros e sensores de PA, outros dois sensores são considerados nessa tese, o sensor de temperatura externa e o sensor de movimento.

De maneira a comprovar que existem informações incertas relacionadas com os dispositivos que coletam taxa de açúcar no sangue e pressão arterial em pacientes, diferentes sensores de glicose e pressão arterial, disponíveis comercialmente, foram analisados com o objetivo de evidenciar os possíveis parâmetros que indicam aspectos de incertezas, os quais são destacados a seguir.

Os seguintes itens podem ser vistos como possíveis fatores de incertezas em acelerômetros:

- a) Parâmetros informados: diz respeito ao tipo de parâmetro reportado pelo sensor, tais como intensidade da atividade, velocidade da caminhada, distancia nível de intensidade da atividade entre outros. Considerar esse elemento como possível fator de incerteza justifica-se na medida em que cada tipo de parâmetro requer um nível de sensibilidade específico (YANG, 2010).
- b) Transmissão de dados: o tipo de transmissão de dados é outro elemento relevante na investigação, pois a este estão relacionadas taxas de perda na transmissão, volume limite de dados a transmitir, velocidade de transmissão, distâncias mínimas e máximas, no caso de transmissão sem fio, entre outras.
- c) Intervalo de sensibilidade: os limites de sensibilidade são elementos associados a cada tipo de sensor e pode variar de acordo com o tipo, a destinação, o fabricante entre outros. Um intervalo de variação pode ser apresentado como, por exemplo, 0.05–2.5g que indica que um sensor com esse intervalo de sensibilidade tem melhor precisão quando a grandeza observada está dentro desse intervalo (YANG, 2010).

Com relação aos sensores de temperatura, o emprego destes dá-se principalmente pelos dados obtidos por esse terem a capacidade de influenciar os

dados fisiológicos. Por exemplo, a pressão arterial do paciente pode ser influenciada pela temperatura externa, conforme relatado no manual de medida da pressão arterial – MAPA (MION, 2008).

Glicômetros ou glicosímetros tem sua precisão regulamentada pela ISO 15197 de 2003 que orienta que 95 % dos resultados individuais de glicose devem estar dentro de ± 15 mg/dL em relação aos resultados de medidas de fabricante em concentração de glicose < 75 mg/dL e; dentro de $\pm 20\%$ das concentrações de glicose ≥ 75 mg/dL.

De acordo com a ISO 15197, a medida da glicose deve prover resultados dentro dos 20 % do padrão laboratorial em 95% das vezes em que for medido (para concentrações acerca de 75 mg/dL, considerando os níveis absolutos)

Entretanto, fatores externos também podem influenciar no nível de precisão desse tipo de dispositivo, a saber: a calibração do medidor, a temperatura ambiente, o uso de pressão para limpar a tira (se aplicável), o tamanho e qualidade da amostra de sangue, os níveis elevados de certas substâncias (tais como ácido ascórbico) no sangue, a condição higiênica do dispositivo, a umidade e o envelhecimento das tiras de teste. Ressalta-se, entretanto, que cada modelo de glicômetro pode ter esses elementos com valores diferentes.

Sensores de pressão arterial reportam a variação sistólica e diastólica do paciente em tempos determinados. Além de reportarem esses dados, são comumente empregados para fornecerem informações acerca da frequência cardíaca, informação esta diretamente relacionada à PA. Esses dados sofrem alteração dos dados ambientais e comportamentais do contexto em que o paciente se encontra.

O Quadro 11 destaca uma lista de alguns sensores e seus níveis de precisão, faixa de medição, frequência e outros que podem se configurar como possíveis fontes de incertezas. Como é possível observar, a cada tipo de sensor existe uma variação da fonte de incerteza e de seu valor associado.

Sensor	Possível fonte de Incerteza
Glicosímetro	Precisão de 95% (FRECKMANN, 2010)
XM2110CA Acelerômetro	Faixa de medição +/- 2g. Precisão 0.2% (CROSSBOW, 2007)
Transmissão Sensor XM2110CA	Frequência: 2.4 GHz, Padrão: IEEE 802.15.4, Taxa de transmissão: 250kbps. (CROSSBOW, 2007)
XM2110CA - Sensor de temperatura	Faixa de medição: 20 °C até +71 °C, Precisão +/- 0.5C @ 25 °C. (CROSSBOW, 2007)
Acelerômetro - WeC Motes	Faixa de medição entre +/- 2 g (SILVA, 2004)
Sensor de temperatura WeC Motes	Precisão entre 20° a C/100° C de 0,25° C (SILVA, 2004).
Guardian®	89,3 % de precisão (VALGIMIGLI, 2011)
Navegator®	72,2 % de precisão (VALGIMIGLI, 2011)
GlucoDay®	76,9 % de precisão (VALGIMIGLI, 2011)
UA-851THX Wireless Blood Pressure Monitor	Precisão: ±3 mmHg ou ±2%. Intervalo de leitura: 20 mmHg até 280 mmHg (AMD, 2012)
Shimmer acelerômetro Modelo MMA7361	Intervalo de +/- 1.5 a 6.0g. Precisão 0.2% (SHIMMER, 2012)
Sensor de temperatura LM35	Precisão +/- 0.5C @ 25°C (NATIONAL, 2000)
Glicosímetro Accu-Chek Active®,	Precisão de 95% para +/- 75 mg/dL (FRECKMANN, 2010)
Medidor de pressão arterial Modelo HEM-6111	Precisão: ±3 mmHg. (OMRON, 2012)

Quadro 11: Incertezas associadas a sensores

3.4 Comentários sobre o capítulo

Importantes elementos investigados nesta pesquisa foram apresentados neste capítulo. As informações contextuais presentes no monitoramento da saúde de pessoas diabéticas e hipertensas são destacadas, para as quais se observa a relação de dependência existente entre os sensores empregados no monitoramento e as classes de incertezas destacadas neste trabalho.

Como contribuição desta pesquisa são propostas classes para incertezas contextuais, a saber, a classe de incerteza oriunda da interação entre as variáveis, a classe associada ao tipo de sensor empregado e a classe de incerteza relacionada ao tipo de comunicação de dados empregada.

Outro aspecto que merece relevância é a descrição dos elementos que podem atuar como fonte de incerteza contextual, como é o caso das falhas associadas às redes de sensores sem fio (representantes da classe de incerteza de Transmissão/Comunicação).

4. PRANINC – PROCESSO PARA ANÁLISE DE INCERTEZAS CONTEXTUAIS NO MONITORAMENTO DO INDIVÍDUO DIABÉTICO E HIPERTENSO

No monitoramento da saúde através de sensores, cada sensor captura vários dados e estes constituem importantes evidências, que são analisadas a partir da compreensão de que o contexto engloba aspectos do comportamento humano, do ambiente em que a pessoa monitorada se encontra e dos dados fisiológicos desta.

Este capítulo destaca a análise das incertezas contextuais associadas ao monitoramento da saúde de pacientes, através de sensores, a partir do emprego de um processo definido com este objetivo. O método empregado neste capítulo envolve desde a apresentação do processo PRANINC, passando pela descrição do conhecimento especialista aplicado, pelas estratégias empregadas na validação do processo até a exibição dos resultados obtidos através de estudos de caso e dos experimentos computacionais realizados. Assim, as próximas seções descrevem tais elementos.

4.1 PRANINC - Processo para análise de incertezas no monitoramento da saúde através de sensores.

O PRANINC adota um fluxo que começa com a inserção dos dados iniciais do cenário em monitoramento até o cálculo de intervalo de confiança nas hipóteses trabalhadas.

É um processo composto por atividades, que são baseadas nos conceitos da teoria de DS e do Modelo de Fatores de Certeza, os quais são empregados tanto nas evidências, que são atribuídas ao longo do processo, quanto na obtenção dos resultados finais. Além das atividades é possível visualizar subprocessos.

A modelagem deste processo segue padrões da notação para modelagem de processos de negócio BPMN (*Business Process Modeling Notation*) (OMG, 2010) Ver as Figuras 14,15, 16 e 17.

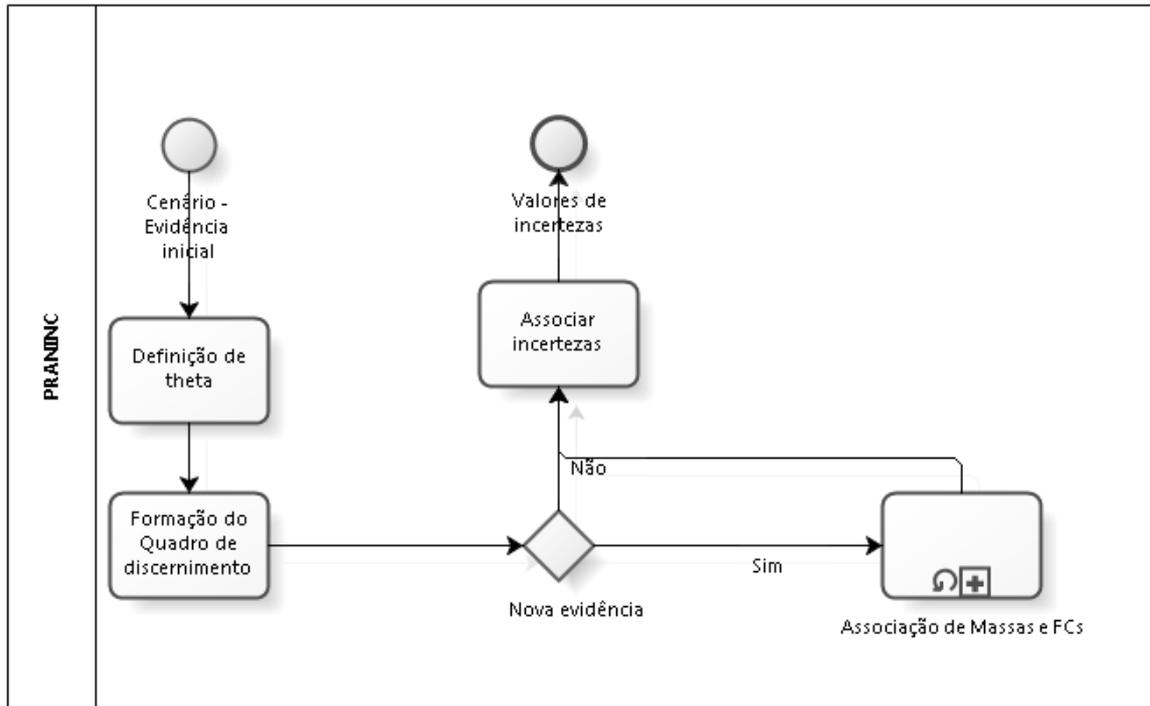


Figura 14: PRANINC - Processo para análise de incertezas associadas ao monitoramento da saúde humana através de sensores.

A figura 14 destaca as atividades principais do PRANINC e o seu principal processo Associação de massas e FCs.

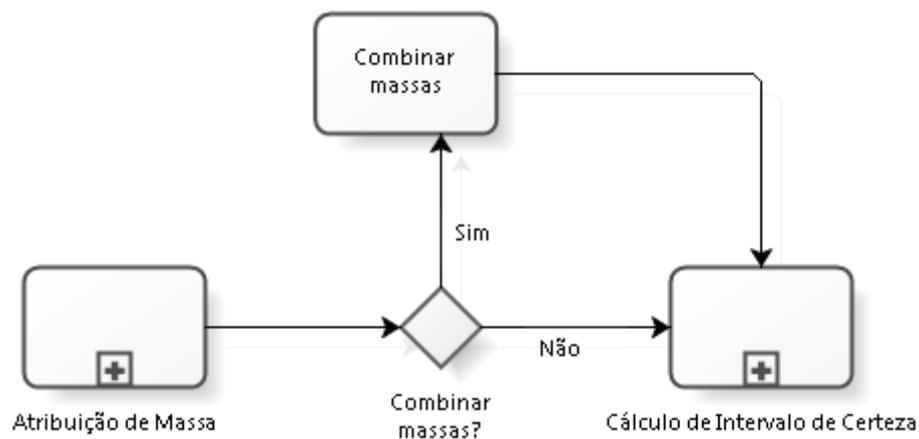
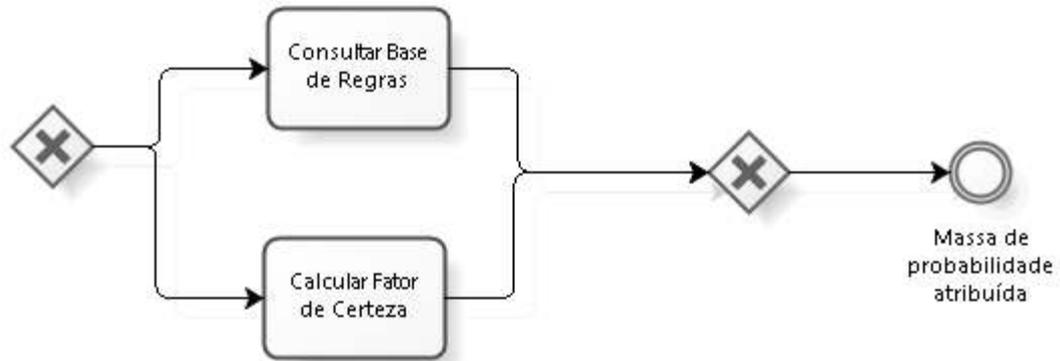


Figura 15: PRANINC – Subprocesso – Associação de Massas e Fcs

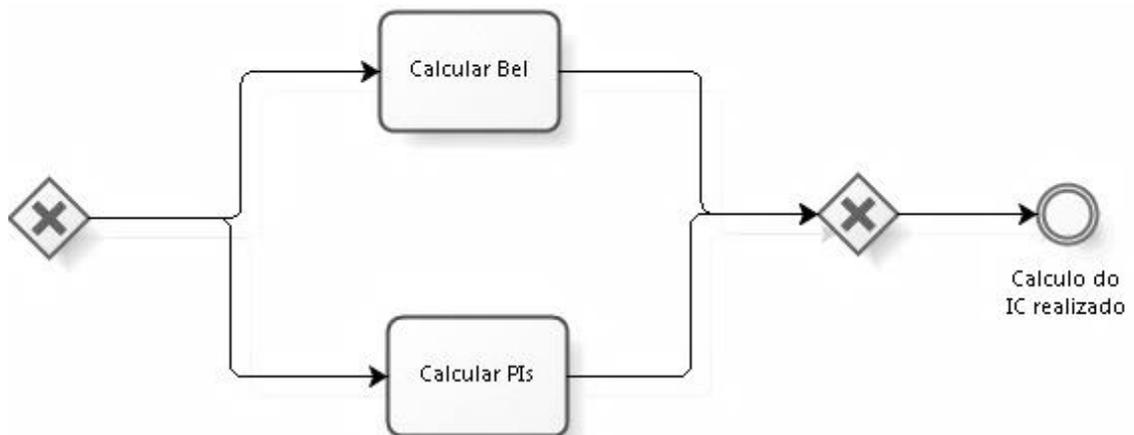
A figura 15 destaca o conteúdo do subprocesso Associação de massas e FCs destacando dois outros subprocessos: Atribuição de Massa e Cálculo de Intervalo de Certeza.

As figuras 16 e 17 destacam os conteúdos dos subprocessos Atribuição de Massa e Cálculo de Intervalo de Certeza, respectivamente.



Powered by
bizagi
Modeler

Figura 16: PRANINC – Subprocesso – Atribuição de Massas



Powered by
bizagi
Modeler

Figura 17: PRANINC – Subprocesso – Cálculo de Intervalo de Certeza

As próximas seções descrevem cada uma das atividades do PRANINC.

4.1.1 Cenário de evidência inicial

Trata-se de uma atividade na qual o primeiro dado é obtido. É a atividade responsável por dar início a todo processo, nela destaca-se a primeira informação coletada pelos sensores e repassada ao sistema.

Nos estudos de caso e nos experimentos apresentados na seção 4.4 são representados pela primeira informação relatada, em geral são os dados obtidos nas primeiras horas de monitoramento.

Em casos reais é possível que esse dado inicial seja insuficiente para a definição do domínio, entretanto, como há suporte na teoria de DS para a verificação de hipóteses não presentes no domínio Θ , esse primeiro dado pode ser mantido.

O Quadro 12 exhibe o primeiro dado obtido, a partir da leitura do arquivo E1paciente3.csv. Dados empregados nos experimentos dessa pesquisa.

Horário	Evidência		FC
08:30	NIDiasABP	179	1
08:30	NISysABP	99	1

Quadro 12: Primeira evidencia (dado) obtida na leitura do arquivo E1paciente3.csv

Ainda, o Quadro 12 fornece informações como Horário, que diz respeito ao horário de coleta do dado; O item Evidência é o próprio dado coletado e seu respectivo valor; O item FC é o valor do fator de certeza associado a essa evidência, que é fornecido pelo especialista e indica o grau de certeza que este tem da evidência.

4.1.2 Definição de theta

A partir da entrada do dado inicial do cenário em monitoramento, os profissionais que acompanham o monitoramento remoto do paciente podem estabelecer hipóteses de diagnóstico e orientações de tratamento para o paciente. Trata-se da formação do domínio theta (Θ).

Os profissionais podem, por exemplo, especificar um cenário como $\Theta = \{\text{bronquite, pneumonia, asma}\}$, ou ainda $\Theta = \{\text{hipertensão, taquicardia}\}$.

Na validação desse processo foi empregado um domínio genérico no qual as hipóteses são níveis de incertezas. Trata-se do domínio: $\Theta = \{\text{IE, CI, IR, TI}\}$, para o qual IE (Incerteza estatística); CI (Cenário Incerto); IR (Incerteza Reconhecida); TI (Total Ignorância). Nos experimentos realizados nessa pesquisa, a formação desse

domínio deu-se em função do aspecto genérico que se procurava empregar ao processo.

4.1.3 Formação do quadro de discernimento

Essa atividade considera o estabelecimento do quadro de discernimento, com todas as 2° hipóteses possíveis. As características desse quadro são apresentadas na Seção 2.7 do Capítulo 2.

Para a validação do PRANINC, ao domínio $\Theta = \{IE, CI, IR, TI\}$ foi atribuído o seguinte quadro de discernimento: $2^{\Theta} = \{\emptyset, \{IE\}, \{CI\}, \{IR\}, \{TI\}, \{IE, CI\}, \{IE, IR\}, \{IE, TI\}, \{CI, IR\}, \{CI, TI\}, \{IR, TI\}, \{IE, CI, IR\}, \{IE, CI, TI\}, \{CI, IR, TI\}, \{CI, IR, TI\}, \{IE, CI, IR, TI\}\}$.

4.1.4 Subprocesso Associação de Massas e FCs

A partir da estruturação do quadro de discernimento, é iniciado o subprocesso Associação de Massas e Fatores de Certeza (FCs), que é repetido a cada nova inserção de evidência. Esse subprocesso é composto pelos subprocessos Atribuição de Massa e Cálculo de Intervalo de Certeza (Figura 15), e se repete a partir da inclusão de uma nova evidência.

4.1.5 Subprocesso Atribuição de massa

Através da figura 16 é possível observar que este subprocesso envolve duas atividades, a saber, a consulta à base de regras, o cálculo dos fatores de certeza.

Essas atividades consideram o valor do fator de certeza que é associado tanto à evidência obtida pelo sensor quanto do fator de certeza que está atribuído na base de regras com o conhecimento especialista. No caso do FC associado à evidência obtida pelo sensor, este diz respeito ao o grau de certeza que se tem acerca do valor que foi lido.

A atividade de consulta à base de regras é o mapeamento que se faz entre a evidência obtida e a base de regras.

O Quadro 16 apresenta a base de regras com o conhecimento especialista empregado na pesquisa. Observa-se que uma das colunas desse quadro apresenta o valor dos fatores de certeza associados a cada regra.

Uma vez que a regra relacionada à evidência é encontrada são realizados os cálculos do Modelo de Fatores de certeza, conforme destaca a Seção 2.8 do Capítulo 2.

A partir dos valores dos fatores de certeza, tanto da evidência informada quanto da regra associada é possível obter o valor da massa de probabilidade que será atribuída à evidência.

Nos estudos de caso e experimentos empregados nessa tese (Seções 4.4 e 4.5) é possível observar estes cálculos em detalhes.

A decisão, em se empregar os conceitos e cálculos do Modelo de Fatores de Certeza como elementos formadores do cálculo da massa de probabilidade ocorreu em função das características do conhecimento médico, que compreende aspectos de incerteza e subjetividade, variar de acordo com a experiência e formação do especialista. Com o emprego do MFC evitou-se que as massas de probabilidades fossem calculadas através de valores gerados aleatoriamente.

Outro importante aspecto implementado nesta pesquisa diz respeito à escala de incertezas adotada, que varia de incerteza Estatística a Total Ignorância (WALKER, 2003), ver Figura 6. Para o emprego dessa escala foi necessário integrar os fatores de certeza, que variam de um negativo a um positivo, e a escala dos tipos de incertezas. Para tanto, adotaram-se os critérios destacados na Figura 18, para os quais as seguintes propriedades entre Fatores de Certeza e Escala de Incerteza são observadas:

Se FC entre [1; 0.5] classificação Incerteza Estatística.

Se FC entre [0.5; 0] classificação Cenário Incerto.

Se FC entre [0; -0.5] classificação Ignorância reconhecida.

Se FC entre [-0.5; -1] classificação Total Ignorância.

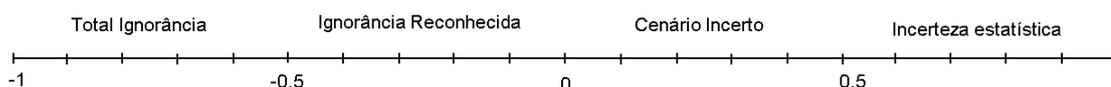


Figura 18: Escala de incerteza integrada ao intervalo numérico dos fatores de certeza.

Assim, evitou-se que massas negativas fossem observadas, uma vez que os valores de massa adotados em TDS estão dentro de um intervalo entre 0 (zero) e 1 (um) com soma total 1.

Quando os FCs adotados são negativos, estes servem apenas para a classificação do tipo de incerteza trabalhada, ficando o valor considerado em módulo para a realização do cálculo das massas de probabilidade.

4.1.6 Combinar massas

Esta atividade, que é realizada quando há necessidade de se combinar duas massas existentes, é responsável por gerar uma terceira massa que será adotada para os demais cálculos. Na figura 16, essa atividade pode ser vista com uma estrutura de decisão ligando-a as demais atividades, pois esta atividade será executada apenas quando for necessário combinar duas massas.

4.1.7 Cálculo do intervalo de certeza

O subprocesso Cálculo do intervalo de certeza é composto pelas atividades Calcular Bel e Calcular PIs – ver figura 17. Neste sentido, uma vez conhecidas as massas associadas às hipóteses em estudo é possível calcular e analisar o intervalo de confiança, que é definido na equação 16.

$$IC(A) = [Bel(A); PI(A)]$$

Este cálculo é feito com base nas equações 8 e 12, apresentadas na Seção 2.7 do Capítulo 2, que fornecem direcionamentos aos cálculos da função de crença (*Belief*) e a função de plausibilidade (*Plausibility*).

4.1.8 Associar incertezas

A atividade Associar Incertezas (ver Figura 14) diz respeito a associação dos valores de incertezas calculados para cada uma das classes de incerteza envolvidas.

Para tanto, entende-se que na teoria de Dempster-Shafer uma hipótese *H* pode ser confirmada ou refutada através das evidências inseridas no cenário. Para o monitoramento da saúde humana através de sensores, entende-se que o cálculo de DS não deve observar apenas as evidências coletadas, mas também as incertezas associadas aos elementos envolvidos.

Por exemplo, se tivermos uma evidência (*E*): “o valor da pressão arterial diastólica de um paciente oscilando entre 100 a 109 mmHg”, seria possível associar a essa evidência algum tipo de incerteza (*I*) que poderia estar ligada as seguintes classes:

- a. Ao sensor – “Incerteza S”;
- b. A tecnologia de transmissão/ comunicação – “Incerteza T”;
- c. À interação com o contexto – “Incerteza C”.

Considera-se, então, que para cada evidência um ou mais tipos de incertezas podem ser associadas, conforme é demonstrado na figura 19.

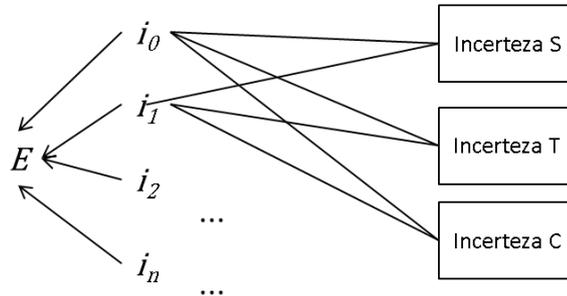


Figura 19: Incertezas associadas a uma evidência

Onde cada incerteza i pode estar relacionada a uma das classes de incertezas, visualizadas na Figura 13, a saber, ao tipo do sensor, ao grau de influencia exercido nos dados fisiológicos e ao tipo de transmissão de dados empregada.

Cada classe de incerteza possui suas próprias características, que são consideradas no cálculo de seus valores. O Quadro 11, por exemplo, destaca alguns aspectos que podem ser considerados como potenciais fontes de incertezas para a classe de incerteza associada ao tipo de sensor.

Na análise de informações incertas, presentes no monitoramento remoto da saúde humana, o principal desafio é reconhecer como tais classes podem influenciar na hipótese final e no intervalo de crença associado a essa hipótese.

Embora três classes de incertezas tenham sido propostas nessa pesquisa não foram realizados experimentos com o PRANINC para a análise das classes de incerteza de interação com o contexto, nem com a classe de incerteza relacionada à comunicação/transmissão de dados empregada na rede de sensores, sendo esses experimentos planejados como pesquisas futuras. Entende-se que para conhecer os valores de incertezas relacionadas à classe de incerteza de interação é necessário um aprofundado estudo acerca do conhecimento especialista, o que poderá indicar os níveis de influência que o contexto exerce nos dados fisiológicos de um paciente.

Já na obtenção do conhecimento acerca dos valores de incertezas relativas à transmissão e comunicação de dados em redes de sensores, um estudo técnico e

avaliativo destas tecnologias é requerido, o que possibilitará conhecer taxas de erros, frequência de envio/recebimento, perdas de pacotes entre outros, que poderão de alguma forma, influenciar nos dados obtidos.

A associação dos valores de incerteza no PRANINC ocorreu em função da análise dos dispositivos sensoriais empregados no monitoramento da saúde humana. Sabendo-se que aos sensores empregados neste tipo de monitoramento, cabe a responsabilidade de obter as medições de temperatura ambiente, da movimentação humana, do fluxo sanguíneo que percorre as artérias e dos níveis de glicose no sangue, buscou-se observar suas influências a partir do emprego de conceitos para a análise que se faz de incertezas em dispositivos de medição, como é o caso desses sensores.

Para tanto, foram empregados estudos baseados no Guia para a expressão da incerteza na medição (*Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement - GUM*). Cabral (2004) relaciona um estudo sobre tal assunto destacando o método de cálculo baseado no documento EA-4/02 de 1999, que é consistente com o documento internacional GUM.

Cabral (2004) destaca ainda que o resultado de uma medição só estará completo se, para além do valor médio da mensuranda (grandeza que se pretende conhecer), for incluído também uma estimativa da incerteza desse valor médio. Assim, para se conhecer o resultado da medição é necessário observar o valor medido em função da variação inferior e superior de sua incerteza.

$$\textit{Resultado da medição} = \textit{Valor medido} \pm \textit{Incerteza da medição}$$

Como a incerteza da medição é uma estimativa que procura caracterizar o intervalo de valores dentro do qual se encontra o verdadeiro valor da grandeza medida (mensuranda) está estimativa deve ser feita após eliminação de todos os componentes sistemáticos de erro conhecidos (CABRAL, 2004).

Assim, a grandeza a medir, Y , é uma função de um conjunto de grandezas de entrada, X_i , ($i = 1, 2, \dots, n$), podendo exprimir-se matematicamente da seguinte forma:

$$Y = F(X_1, X_2, X_i, \dots, X_n) \tag{26}$$

Para Incerpi (2008), as especificações fornecidas pelos fabricantes de dispositivos como os sensores, devem ser estudadas a partir de uma classificação

tipo B, para a qual é realizado um cálculo de limite de erro a , que é a média dos limites inferiores e superiores para as informações fornecidas.

Os valores limites para o cálculo da incerteza tipo B são facilmente encontrados em catálogos de fabricantes de sensores. No caso dos sensores empregados no monitoramento da saúde humana, os fabricantes também divulgam tais valores, como é possível observar através do Quadro 11 [(VALGIMIGLI, 2011), CROSSBOW, 2007), FRECKMANN, 2010)]

O cálculo da incerteza tipo B é feito através da equação:

$$u = \frac{a}{\sqrt{3}} \tag{27}$$

Onde u é a incerteza e a é a diferença entre os limites inferiores e superiores dos valores fornecidos pelos fabricantes. Outra forma de observar a eq. 27 é através da seguinte equação:

$$u = \frac{M_i - M_j}{\sqrt{3}} \tag{28}$$

Onde:

M_i é o maior valor encontrado e M_j é o menor valor encontrado.

Assim, ao se considerar os sensores de pressão arterial, de nível de glicose sanguínea, de temperatura externa e de movimentação para emprego no monitoramento da saúde do paciente diabético e hipertenso (Ver Quadro 11), seria possível, por exemplo, associar os seguintes valores de precisão.

Para o sensor de temperatura: imprecisão em 0,5%; Ao sensor de movimento: imprecisão em 0,2%; Já o sensor de glicose: imprecisão em 5% e finalmente para o sensor de pressão arterial: imprecisão em 3%.

A partir da associação dos valores de incerteza, empregados a cada sensor, é possível construir valores para o limite inferior e para o limite superior do valor observado, conforme é destacado no Quadro 13.

Dados	Valores originais	Valores do Limite inferior	Valore do Limite Superior	Incerteza associada ao sensor
Temperatura	27	26,42	27,58	0.58
Movimento	0.15	0.1477	0.1523	0.0023
Glicose	154	152.98	155.02	1.02
Pressão arterial	50	45.8	54.2	4.2

Quadro 13: Cálculo de incertezas em sensores

Detalhadamente, uma vez associados os valores de incertezas e empregada a equação 28, é possível obter os valores constantes na coluna “Incerteza associada ao sensor” do Quadro 13. Após a aplicação desses valores sobre os originais é possível calcular os valores para os limites inferiores e superiores, os quais são obtidos a partir da soma e/ou subtração dos valores de incerteza sobre os valores originais relatados pelos sensores.

4.2 Modelagem do conhecimento especialista

A investigação relatada nessa tese é de caráter multidisciplinar; nela se destacam elementos da área de computação, probabilidade e medicina. Trata-se da aplicação de uma análise de incertezas contextuais sobre um sistema especialista.

Para PY (2011), um sistema especialista é um sistema baseado no conhecimento, é especialmente projetado para emular a especialização humana em algum domínio. Este sistema possui uma base de conhecimento formada de fatos, regras e heurísticas sobre o domínio, tal como um especialista humano faria, e deve ser capaz de oferecer sugestões e conselhos aos usuários e, também, adquirir novos conhecimentos e heurísticas com essa interação.

Neste trabalho, optou-se por representar o conhecimento especialista através da associação de fatores de certeza aos conhecimentos que compõem a base de regras. O fator decisivo na escolha desse modelo deu-se por ser este um método para gerenciamento de incertezas em sistemas baseados em regras (HECKERMAN, 1986).

O conhecimento especialista é modelado a partir das regras IF <...> THEN, às quais são adicionados valores dos fatores de certeza. Ressalta-se que os valores associados aos FCs foram adicionados de maneira aleatória podendo estes sofrer alteração de acordo com a crença do especialista sobre cada regra apresentada.

O Quadro 14 destaca os fundamentos do conhecimento especialista, base para a formação das regras e trechos do código empregados na construção da Base de Regras – Quadro 15 - para os experimentos computacionais podem ser visualizados no Apêndice A, desta tese.

Conhecimento	Fonte
Regras associadas aos valores de glicose em mg/dl para diagnóstico de diabetes mellitus e seus estágios pré-clínicos.	SBE. Sociedade Brasileira de Diabetes. Diretrizes da Sociedade Brasileira de Diabetes 2009. 3ª Ed. Itapevi: A. Araújo Silva Farmacêutica. SP. ISBN 978-85-60549-30-6.
Regras associadas ao estudo empregado por Sega (1998) que demonstrou que a pressão arterial humana é mais baixa em períodos de frio que nos de calor.	SEGA R, Cesana G, Bombelli M, Grassi G, Stella ML, Zanchetti A, Mancia G. Seasonal variations in home and ambulatory blood pressure in the PAMELA population. <i>Pressione Arteriose Monitorate e Loro Associazioni. J Hypertens.</i> 1998;16:1585–1592. DEEDWANIA P. The changing face of hypertension: is systolic blood pressure the final answer? <i>Arch Intern Med.</i> 2002;162:506-508
Regras associadas a valores da variação da pressão arterial	BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Básica. Hipertensão arterial sistêmica para o Sistema Único de Saúde / Ministério da Saúde, Secretaria de Atenção à Saúde, Departamento de Atenção Básica. – Brasília. SBC. Sociedade Brasileira de Cardiologia / Sociedade Brasileira de Hipertensão / Sociedade Brasileira de Nefrologia. VI Diretrizes Brasileiras de Hipertensão. <i>Arq Bras Cardiol</i> 2010; 95(1 supl.1): 1-51 SBC. V Diretrizes Brasileiras de Monitorização Ambulatorial da Pressão Arterial (MAPA V) e III Diretrizes Brasileiras de Monitorização Residencial da Pressão Arterial (MRPA III). Sociedades Brasileiras de Cardiologia, Hipertensão e Nefrologia. <i>Arq Bras Cardiol</i> 2011; 97(3 Supl 3):1-24
Regras associadas a valores da variação da Temperatura ambiente e influencia na saúde humana	VOORHEES, Van; W, Benjamin. "Blood Pressure." <i>Medline Plus.</i> 21 Jul 2006. U.S. National Institute of Medicine and the National Institutes of Health. 10 Nov 2007. < http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/ency/article/003398.htm POTTER, A. P.; PERRY, A. G. Fundamentos de enfermagem. Rio de Janeiro, RJ: Guanabara Koogan, 2004. MALLETT, M. L. Pathophysiology of accidental hypothermia. <i>Q. J. Med.</i> , v. 95, p. 775-785, 2002 Effects of Temperature on Blood Pressure Sarah Gardner, David Hoch, Bryan LaFonte CU Boulder, Fall 2007.
Regras associadas a valores da variação do movimento. A influência da movimentação dos níveis de açúcar no sangue.	BERLESE, Daiane Bolzan; MOREIRA, Marina Carolina. SANFELICE, Gustavo Roesse. A importância do exercício físico e sua relação com Diabetes Mellitus tipo 2. <i>Revista Digital - Buenos Aires - Año 12 - N° 115 - Diciembre de 2007.</i> Disponível em: http://www.efdeportes.com/
Regras associadas a valores da variação da Temperatura ambiente	CIOCCI, Marcus V., Reflexos do Excesso de Calor na Saúde e na Redução da Produtividade, Add Eletronics, Compilado a partir das publicações: Excessive Heat and Worker Safety – Universidade da Pensilvânia e NASA Report CR- 1205-VOL-1 "Compendium of Human Responses to the Aerospace Environment"
Regras associadas ao comportamento humano e influência nos dados fisiológicos	ROCHA, Renato; PORTO, Marcelo; MORELLI, Monica Yara Gabriel; MAESTÁ, Nailza; WAIB, Paulo Henrique; BURINI, Roberto Carlos. Efeito de estresse ambiental sobre a pressão arterial de trabalhadores Effect of environmental stress on blood pressure during the working journey. <i>Revista de Saúde Pública</i> 2002; 36(5):568. Disponível em: www.fsp.usp.br/rsp .
Regras associadas ao movimento humano. Sensores de movimento	Godwin, A.A., Agnew, M.J., Stevenson, J.M. (2009) Accuracy of Inertial Motion Sensors in Static, Quasi-static and Complex, Dynamic Motion. In press, <i>Journal of Biomechanical Engineering.</i>
Regras associadas à falhas em redes de sensores. Incertezas na comunicação	MACEDO, Daniel Fernandes. (2006). Um Protocolo de Roteamento para Redes de Sensores sem Fio Adaptável por Regras de Aplicação. http://www.rp.lip6.fr/~macedo/publications/dissertacao.pdf . Dezembro.

Quadro 14: Fundamentos para a base de regras adotada nos experimentos.

REGRA								
Evidência						HIPOTESE	FC	
glicose<=100						GLICOSE_NORMAL	0.5	
glicose<100	AND	coleta==jejum				GLICOSE_NORMAL	0.5	
glicose>100	AND	glicose<126				TOLERANCIA_GLICOSE	0.5	
glicose>100	AND	glicose<126	AND	coleta==jejum		TOLERANCIA_GLICOSE	0.5	
glicose>=126						DIABETEMELLITUS	0.5	
glicose>=126	AND	coleta==jejum				DIABETEMELLITUS	0.5	
glicose>=200	AND	coleta==causal				DIABETEMELLITUS	0.5	
NISysABP<=100	AND	NIDiasABP<=60				HIPOTENSAO	0.5	
NISysABP>100	AND	NISysABP <=120	OR	NIDiasABP>60		NIDiasABP<=80	PRESSAO_OTIMA	0.5
NISysABP<=130	AND	NIDiasABP<=85					PRESSAO_NORMAL	0.5
NISysABP>130	AND	NISysABP<139	OR	NIDiasABP>85	AND	NIDiasABP<=89	PRESSAO_LIMITROFE	0.5
NISysABP>=140	AND	NISysABP<=159	OR	NIDiasABP>=90	AND	NIDiasABP<=99	HIPER__ESTAGIO1	0.5
NISysABP>=160	AND	NISysABP<179	OR	NIDiasABP>=100	AND	NIDiasABP<109	HIPER_ESTAGIO2	0.5
NISysABP>=180	OR	NIDiasABP>=110					HIPER_ESTAGIO3	0.5
NISysABP>=140	AND	NIDiasABP<90					HIPER_SISTISOLADA	0.5
							Continua...	

TEMPERATURE<=16							TEMP_BAIXA	0.5
TEMPERATURE>16	AND	TEMPERATURE<=27					TEMP_MEDIA	0.5
TEMPERATURE>=27	AND	TEMPERATURE<=32					NIVEL_ATENCAO	0.5
TEMPERATURE>32	AND	TEMPERATURE<41					NIVEL_CUIDADO	0.5
TEMPERATURE>=41	AND	TEMPERATURE<=54					NIVEL_PERIGO	0.5
TEMPERATURE>54							NIVEL_EXTREMO	0.5
MOTION>0	AND	MOTION<=0.1					MOVIMENTO_REPOUSO	0.5
MOTION>0.1	AND	MOTION<=0.31					MOVIMENTO_ANDAR	0.5
MOTION>0.31							MOVIMENTO_ANDARRAPIDO	0.5

Quadro 15: Base de Regras empregada na pesquisa

LEGENDA

NISysABP = pressão arterial sistólica não invasiva.

NIDiasABP = pressão arterial diastólica não invasiva.

Temperature = temperatura ambiente.

Motion = movimento.

FC – fator de confiança/certeza.

4.3 Estratégias para a validação do PRANINC

A principal estratégia para validação do PRANINC é a realização de experimentos, os quais foram realizados em duas fases. A primeira fase diz respeito a coleta dos dados dos pacientes e a segunda da análise dos resultados obtidos a partir do emprego do PRANINC.

Na primeira fase foram coletados dados como PA, ECG e Glicose de cinco pacientes, com diagnósticos já conhecidos, a saber: hipertensão, diabetes e normal (sem alterações consideráveis). De cada paciente foram coletados dados antes e depois de haver feito uma refeição.

Na segunda fase, em que o processo de análise de incertezas foi empregado, os dados obtidos nas coletas em pacientes foram inseridos, assim como os valores de precisão associados a cada dispositivo empregado. Dados empregados nos estudos de casos e nos experimentos

Os dados empregados nos estudos de casos e nos experimentos originam-se de dados obtidos do monitoramento de cinco pacientes já diagnosticados como diabético, hipertenso e ainda aqueles que não apresentam alguma dessas doenças.

Nos arquivos que contém os dados dos pacientes os principais identificadores são:

- *RecordID*: Identificador que indica o registro em uso, sua numeração é única.
- *Age*: Este identificador informa a idade da pessoa.
- *Gender*: Identificador para o sexo da pessoa, nesse parâmetro 0 (zero) para feminino e 1 (um) para masculino.

Na realização dos experimentos foram consideradas as seguintes variáveis:

NISysABP (Non invasive systolic arterial blood pressure): indica valores associados à medida da pressão arterial sistólica não invasiva.

NIDiasABP (Non invasive diastolic arterial blood pressure): indica valores associados à medida da pressão arterial diastólica não invasiva.

Glucose: indica valores associados à medida da glicose sanguínea.

Temperature: indica valores associados à medida da temperatura ambiente.

Motion: indica valores associados à medida da movimentação do paciente.

No monitoramento pontual dos pacientes foram empregados os seguintes dispositivos:

a) Sensor de Eletrocardiograma e sensor acelerômetro.

Equipamento usado é desenvolvido pela Shimmer-Research que desenvolve sensores móveis com capacidade de comunicação sem fio. O kit empregado na pesquisa contém um módulo básico que realiza as funções de processamento, armazenamento e comunicação (ver Figura 20). Para esta pesquisa a aquisição dos dados foi feita a partir do módulos de ECG. Mas este kit shimmer ainda possuem outras capacidades, como é o caso do acelerômetro, que possui funcionalidades associadas a cada uma de seus eixos.



Figura 20: Kit de desenvolvimento Cardio Shimmer
Fonte: <http://www.shimmer-research.com>

O módulo de ECG realiza a medição em quatro pontos denominados como **RA** (localizado na direção do braço direito), **LA** (braço esquerdo), **LL** (perna esquerda) e **RL** (perna direita) . A partir destes pontos são calculadas as derivações par ao ECG.

A figura 21 destaca o posicionamento no corpo humano, conforme disponibilização da tecnologia.

Nos experimentos realizados, o shimmer foi empregado de maneira a monitorar as atividades cardíacas do paciente enquanto este realizava suas atividades diárias normalmente. Embora não tenham sido analisadas as incertezas associadas aos ECGs, estes foram empregados de maneira a possibilitar melhor compreensão do quadro clínico dos pacientes envolvidos no estudo.

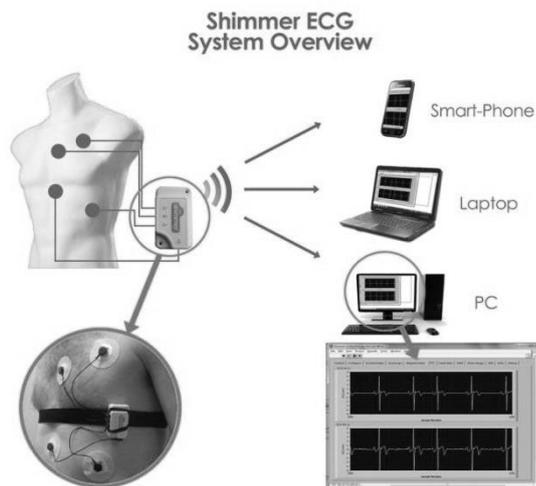


Figura 21: Esquema do Shimmer Cardio
 Fonte: <http://www.shimmer-research.com>

b) Aferidor de Glicose

Trata-se do sistema Accu-Chek Active para a verificação de açúcar no sangue. Esse dispositivo fornece a possibilidade de dosar com a tira de teste dentro ou fora do glicosímetro. Com apenas 2 botões, ele permite um manuseio mais simples (Figura 22).



Figura 22: Dispositivo para aferir nível de glicose sanguínea
 Fonte: <http://www.docevidiadiabetes.com.br/medidor-de-glicose-accu-chek-active-kit.html>

Nos experimentos, todos os pacientes tiveram seus níveis de glicose sanguínea aferidos quando ainda não tinham se alimentado e após a realização de alimentação.

c) Aferidor de pressão arterial

O monitor de pressão arterial automático da Omron é colocado no pulso, e apresenta um moderno método Oscilométrico, com memória para 30 medições com data e hora (Figura 23).



Figura 23:Aferidor de Pressão arterial
Fonte: www.medic.com.br

Este dispositivo foi empregado na coleta de informações sobre a pressão arterial sistólica e a diastólica de cada paciente. Foi usado a cada atividade do monitorado, seja alimentar-se ou realizar uma atividade diária.

d) **Sensor de temperatura ambiente**

Para a aquisição de dado relativo a temperatura ambiente foi empregado o sensor LM35, figura 24. O projeto para o emprego do sensor de temperatura foi desenvolvido através do kit iniciante do arduino, que é uma plataforma de prototipagem eletrônica open-source (<http://arduino.cc/>).



Figura 24: Kit Arduino
Fonte: <http://www.robocore.net>

Desta forma, as variáveis contextuais *Temperature* e *Motion*, representando respectivamente a temperatura ambiente e o movimento humano são consideradas.

A captura da temperatura ambiente foi realizada através do sensor de temperatura LM35 enquanto a movimentação do paciente foi capturada através do dispositivo Shimmer; foram capturados também os ECGs para cada paciente, fornecendo assim mais informações aos profissionais na avaliação dos resultados.

Tem-se, contudo, que outras variáveis poderiam ser empregadas a partir da decisão do que se se deseja observar. A captura dos dados ocorreu em Manaus – Amazonas.

O terceiro e quarto experimentos tiveram como finalidade observar a influência das incertezas associadas aos sensores sobre o resultado final apresentado. Nestes experimentos, os cálculos descritos na seção 4.1.8 puderam ser aplicados de maneira a observar os limites de variação superior e inferior para cada dado apresentado nos arquivos em estudo.

Desta forma são empregados os seguintes critérios para o estudo das informações incertas.

- a) *GlucoseSensorAccuracy*: destaca o nível de precisão do sensor empregado para medição da glicose.
- b) *SensorABPAccuracy*: destaca o nível de precisão do sensor empregado para medição da pressão arterial não invasiva.
- c) *TemperatureSensorAccuracy*: destaca o nível de precisão do sensor empregado para medição da temperatura ambiente.
- d) *MotionSensorAccuracy*: destaca o nível de precisão do sensor empregado para medição do movimento humano.

Para o terceiro e quarto experimentos foram empregados os seguintes tipos de sensores e valores associados:

- a) *GlucoseSensorAccuracy*: Modelo Accu-Chek Active[®], com precisão de 95% para +/- 75 mg/dL.
- b) *SensorABPAccuracy*: Modelo HEM-6111 – Monitor de pressão arterial de pulso automático, com precisão: ± 3 mmHg.
- c) *TemperatureSensorAccuracy*: Modelo LM35, com precisão +/- 0.5C.
- d) *MotionSensorAccuracy*: Modelo MMA7361 Acelerômetro com precisão de Precisão 0.2%

Como os valores apresentam variação dentro de um intervalo inferior e superior de precisão, entendeu-se ser necessário observar a variação destes. Assim, o terceiro Experimento destaca a análise dos dados dos arquivos na visão do intervalo inferior enquanto o quarto na visão superior.

Cabe salientar ainda, que para a execução dos quatro experimentos os mesmos dados foram empregados, sendo que estes foram renomeados para cada experimento seguindo uma notação que indica número do experimento e o nome do arquivo. Por exemplo, o arquivo E1paciente1.csv para o segundo é renomeado para E2paciente1.csv, e para os terceiro e quarto experimentos, assume os nomes E3paciente1.csv e E4paciente1.csv, respectivamente.

4.5 Análise dos resultados das experimentações computacionais.

Para a realização da análise, dois critérios foram estabelecidos: o primeiro está relacionado ao resultado do monitoramento de maneira geral, incluindo os primeiros valores observados até os últimos encontrados, já o segundo diz respeito ao intervalo de crença resultante

Para a apresentação dos resultados os dados sobre o paciente3.csv foram evidenciados através dos quadros abaixo, que serão comentados. Ao final da tese o Apêndice D destaca os demais resultados para cada paciente monitorado.

O quadro 16 são apresenta dados sobre o paciente 3. Nele o primeiro quadro em destaque relaciona as informações pessoais e de diagnóstico enquanto o segundo destaque relaciona os dados fisiológicos capturados pelos sensores.

O quadro 17 também desta os dados do paciente 3, entretanto este são incluídos os dados de temperatura ambiente e de movimentação que também foram coletados nos experimentos.

Como resultado do primeiro experimento, deu-se início a análise dos resultados para esse paciente. O quadro 18 destaca a variação das massas e tipos de incertezas associadas, chegando-se ao intervalo de confiança final, que passou de [0.7, 1] para [0.995, 1] para Incerteza Estatística (IE)

Data	19/dez		
Hora	Parametro	Valor	FC
00:00	RecordID	3	1
00:00	Age	66	1
00:00	Gender	0	1
00:00	Diagnose	1 e 3	1
08:30	Glucose	96	1
08:30	NISysABP	179	1
08:30	NIDiasABP	99	1
11:08	Glucose	106	1
11:08	NISysABP	155	1
11:08	NIDiasABP	87	1
14:00	Glucose	110	1
14:00	NISysABP	180	1
14:00	NIDiasABP	105	1
19:00	Glucose	99	1
19:00	NISysABP	175	1
19:00	NIDiasABP	87	1
22:38	Glucose	98	1
22:38	NISysABP	150	1
22:38	NIDiasABP	98	1

Quadro 17: E1paciente3.csv - dados do primeiro experimento do Paciente3

Data	19/dez		
Hora	Parametro	Valor	FC
00:00	RecordID	3	1
00:00	Age	66	1
00:00	Gender	0	1
00:00	Diagnose	1 e 3	1
08:30	Glucose	96	1
08:30	NISysABP	179	1
08:30	NIDiasABP	99	1
08:30	Temperature	26	1
08:30	Motion	0.25	1
11:08	Glucose	106	1
11:08	NISysABP	155	1
11:08	NIDiasABP	87	1
11:08	Temperature	27	1
11:08	Motion	0.36	1
14:00	Glucose	110	1
14:00	NISysABP	180	1
14:00	NIDiasABP	105	1
14:00	Temperature	28	1
14:00	Motion	0.27	1
19:00	Glucose	99	1
19:00	NISysABP	175	1
19:00	NIDiasABP	87	1
19:00	Temperature	27	1
19:00	Motion	0.23	1
22:38	Glucose	98	1
22:38	NISysABP	150	1
22:38	NIDiasABP	98	1
22:38	Temperature	25	1
22:38	Motion	0.12	1

Quadro 17: E2paciente3.csv - dados do segundo experimento do Paciente3

Tempo	Massa Evento	Tipo Incerteza	Massa Θ	Intervalo de Confiança
08:30	0.7	IE	0.3	IE [0.7, 1]
11:08	0.7	IE	0.3	IE [0.909, 1]
14:00	0.7	IE	0.3	IE [0.972, 1]
19:00	0.7	IE	0.3	IE [0.99, 1]
22:38	0.7	IE	0.3	IE [0.995, 1]

Quadro 18: E1paciente3 – resultado do primeiro experimento

Já o quadro 19 destaca o resultado após a inserção das variáveis de temperatura e movimentação. Observou-se que não ocorreu mudança nem no tipo de incerteza, nem no intervalo de confiança.

Tempo	Massa Evento	Tipo Incerteza	Massa Θ	Intervalo de Confiança
08:30	0.7	IE	0.3	IE [0.7, 1]
11:08	0.7	IE	0.3	IE [0.909, 1]
14:00	0.7	IE	0.3	IE [0.972, 1]
19:00	0.7	IE	0.3	IE [0.99, 1]
22:38	0.7	IE	0.3	IE [0.995, 1]

Quadro 19: E2paciente3 – resultado do segundo experimento

Para o terceiro e quarto experimentos foram feitos os cálculos de incerteza tanto inferior quanto superior sobre o arquivo E2paciente3.csv, resultando nos arquivos E3paciente3.csv e E4paciente3.csv, apresentados nos arquivos 20 e 21, respectivamente.

Data	19/dez		
Hora	Parametro	Valor	FC
00:00	RecordID	3	1
00:00	Age	66	1
00:00	Gender	0	1
00:00	Diagnose	1 e 3	1
08:30	Glucose	94.98	1
08:30	NISysABP	174.8	1
08:30	NIDiasABP	94.8	1
08:30	Temperature	25.42	1
08:30	Motion	0.2477	1
11:08	Glucose	104.98	1
11:08	NISysABP	150.8	1
11:08	NIDiasABP	82.8	1
11:08	Temperature	26.42	1
11:08	Motion	0.3577	1
14:00	Glucose	108.98	1
14:00	NISysABP	175.8	1
14:00	NIDiasABP	100.8	1
14:00	Temperature	27.42	1
14:00	Motion	0.2677	1
19:00	Glucose	97.98	1
19:00	NISysABP	170.8	1
19:00	NIDiasABP	82.8	1
19:00	Temperature	26.42	1
19:00	Motion	0.2277	1
22:38	Glucose	96.98	1
22:38	NISysABP	145.8	1
22:38	NIDiasABP	93.8	1
22:38	Temperature	24.42	1
22:38	Motion	0.1177	1

Quadro 21: E3paciente3.csv - dados do segundo experimento do Paciente3

Data	19/dez		
Hora	Parametro	Valor	FC
00:00	RecordID	3	1
00:00	Age	66	1
00:00	Gender	0	1
00:00	Diagnose	1 e 3	1
08:30	Glucose	97.02	1
08:30	NISysABP	183.2	1
08:30	NIDiasABP	103.2	1
08:30	Temperature	26.58	1
08:30	Motion	0.2523	1
11:08	Glucose	107.02	1
11:08	NISysABP	159.2	1
11:08	NIDiasABP	91.2	1
11:08	Temperature	27.58	1
11:08	Motion	0.3623	1
14:00	Glucose	111.02	1
14:00	NISysABP	184.2	1
14:00	NIDiasABP	109.2	1
14:00	Temperature	28.58	1
14:00	Motion	0.2723	1
19:00	Glucose	100.02	1
19:00	NISysABP	179.2	1
19:00	NIDiasABP	91.2	1
19:00	Temperature	27.58	1
19:00	Motion	0.2323	1
22:38	Glucose	99.02	1
22:38	NISysABP	154.2	1
22:38	NIDiasABP	102.2	1
22:38	Temperature	25.58	1
22:38	Motion	0.1223	1

Quadro 21: E4paciente3.csv - dados do segundo experimento do Paciente3

Após a aplicação do PRANINC seus resultados foram apresentados a um especialista em medicina de maneira a validar seus resultados, o Dr. Cleinaldo de Almeida Costa – CRM 2677-AM, especialista em cirurgia cardiovascular.

Para auxiliar o Dr. Cleinaldo Costa foi apresentado o ECG do paciente em dois momentos, antes de qualquer atividade e após a execução de atividade. As figuras 26 e 27 apresentam tais gráficos. As linhas Giro X e Giro Y descrevem a variação da função cardíaca para o ECG.

O ECG é apresentado através do software Shimmer Binary Reader, ferramenta componente do Kit Shimmer usado nas experimentações.

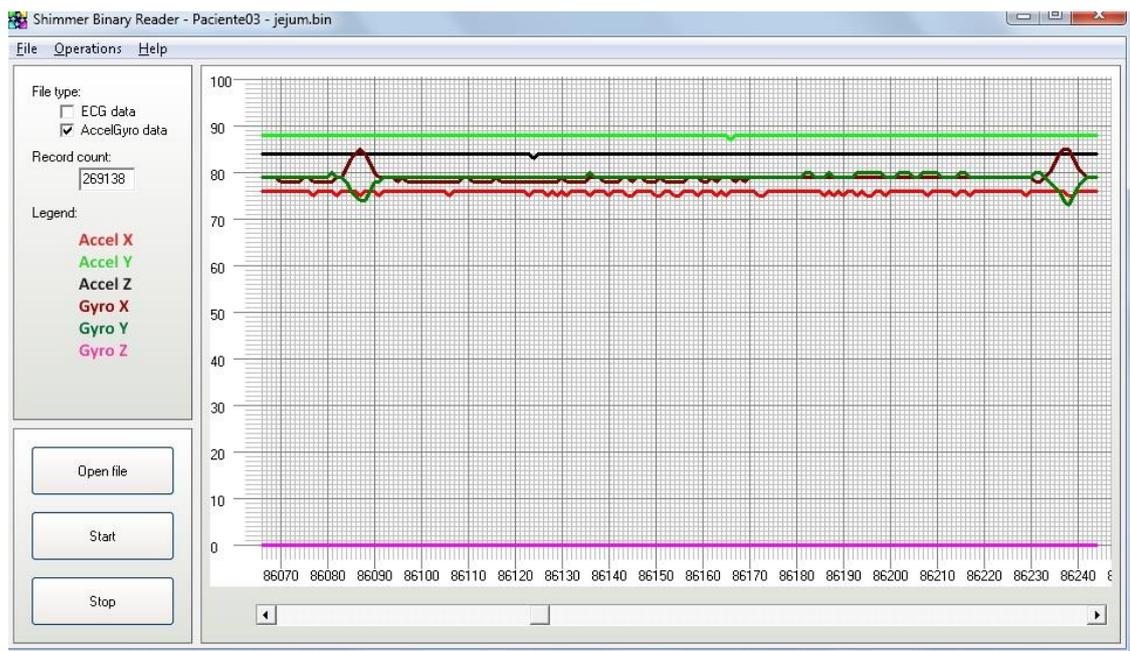


Figura 26: ECG Paciente3 - antes de atividades e alimentação



Figura 27: ECG Paciente 3 – após atividades e alimentação

As observações feitas pelo Dr. Cleinaldo Costa acerca do PRANINC é que seus resultados não alteram o diagnóstico inicial acerca do paciente e sim, uma alteração na condição clínica do paciente, requerendo portanto mais investigação.

4.5.1 Resultados dos Experimentos

Conforme já afirmado, dos arquivos envolvidos nos experimentos procurou-se destacar os dados provenientes do arquivo E1paciente3.csv, para que uma análise gráfica e pontual fosse realizada, entretanto, salienta-se que os demais arquivos podem ter seus comportamentos analisados a partir de quadros também disponibilizados.

No primeiro experimento apenas dados fisiológicos foram empregados. O segundo experimento incluiu além dos valores de dados fisiológicos a inclusão de dois novos dados, representantes do comportamento e ambiente. O terceiro e o quarto experimento incluiu o cálculo de incertezas sobre os valores encontrados nos arquivos, atribuindo valores limites mínimo (terceiro experimento) e máximo (quarto experimento) para os valores presentes nos arquivos.

O quadro 22 ilustra os intervalos resultantes dos experimentos para cada um dos 5 pacientes envolvidos nos experimentos.

Paciente	Experimento 1	Experimento 2	Experimento 3	Experimento 4
1	IE [0.991 , 1]			
2	IE [0.994 , 1]	IE [0.994 , 1]	IE [0.995 , 1]	IE [0.994 , 1]
3	IE [0.995 , 1]			
4	IE [0.995 , 1]			
5	IE [0.995 , 1]			

Quadro 22: Variação do resultado dos experimentos com os 5 pacientes

Conforme pode ser observado a única diferença encontrada nos valores diz respeito ao intervalo de confiança obtido pelo paciente 2 no terceiro experimento, entretanto, ao analisarmos o quadro 23, que destaca a variância entre a função Belief e a função Plausibility nota-se que essa alteração não teve valor relevante.

P	ICs	E1 Bel	E1PIs	E2 Bel	E2PIs	E3 Bel	E3PIs	E4 Bel	E4 PIs	Variância Bel	Variância de PIs	% Bel	% PIs
1	CI												
	IE	0.991	1.000	0.991	1.000	0.991	1.000	0.991	1.000	0.000	0.000	0%	0%
2	CI												
	IE	0.994	1.000	0.994	1.000	0.995	1.000	0.994	1.000	0.000	0.000	0%	0%
3	CI												
	IE	0.995	1.000	0.995	1.000	0.995	1.000	0.995	1.000	0.000	0.000	0%	0%
4	CI												
	IE	0.995	1.000	0.995	1.000	0.995	1.000	0.995	1.000	0.000	0.000	0%	0%
5	CI												
	IE	0.995	1.000	0.995	1.000	0.995	1.000	0.995	1.000	0.000	0.000	0%	0%

Quadro 23: Variância entre Bel e PIs nos experimentos

Além desses experimentos, os experimentos 5 e 6 foram implementados de maneira a verificar o comportamento do tipo de incerteza resultante e do intervalo de confiança obtido.

Para o experimento 5, foram admitidos novos valores para a coluna “incerteza associada ao sensor”, os quais foram introduzidos com base nas

informações fornecidas pelos fabricantes dos dispositivos (ver quadro 11, página 85 desta tese), alterando-se o Quadro 13 da seguinte maneira:

Incerteza associada ao sensor
3
0.05
5
5

Enquanto para o experimento 6 foi admitido um FC de 0.8 para as variáveis fisiológicas, comportamentais e ambientais.

A partir dessas alterações os valores obtidos pelos sensores foram alterados pelo PRANINC e por consequência novos quadros com resultados finais foram obtidos, conforme destaca o quadro 24. Neste quadro é importante observar que todo o intervalo resultante do experimento 6 foi alterado, enquanto que no quinto experimento apenas o intervalo final do paciente 2 foi alterado.

Paciente	Experimento 5		Experimento 6	
	Inferior	Superior	Inferior	Superior
1	IE [0.991 , 1]	IE [0.991 , 1]	IE [0.789 , 0.211]	IE [0.862 , 0.138]
			CI [0.129 , 0.871]	CI [0.053 , 0.947]
2	IE [0.995 , 1]	IE [0.994 , 1]	IE [0.981 , 1]	IE [0.936 , 0.064]
				CI [0.023 , 0.977]
3	IE [0.995 , 1]	IE [0.995 , 1]	IE [0.981 , 1]	IE [0.981 , 1]
4	IE [0.995 , 1]	IE [0.995 , 1]	IE [0.981 , 1]	IE [0.981 , 1]
5	IE [0.995 , 1]	IE [0.995 , 1]	IE [0.981 , 1]	IE [0.981 , 1]

Quadro 24: Resultados dos novos experimentos 5 e 6

Confirmando esse comportamento, foi realizado o cálculo da variância das funções Bel e PIs, demonstrado no quadro 25, no qual é destacada a alteração observada.

P	ICs	E2 Bel	E2PI	E2 Bel	E2PI	E3 Bel	E3PI	E4 Bel	E4 PI	Variância Bel	Variância de PI	% Bel	% PIs
1	CI					0.129	0.871	0.053	0.947			0%	0%
	IE	0.991	1.000	0.991	1.000	0.789	0.211	0.862	0.138	0.010	0.204	1%	20%
2	CI							0.023	0.977			0%	0%
	IE	0.995	1.000	0.994	1.000	0.981	1.000	0.936	0.064	0.001	0.175	0%	17%
3	CI											0%	0%
	IE	0.995	1.000	0.995	1.000	0.981	1.000	0.981	1.000	0.000	0.000	0%	0%
4	CI											0%	0%
	IE	0.995	1.000	0.995	1.000	0.995	1.000	0.981	1.000	0.000	0.000	0%	0%
5	CI											0%	0%
	IE	0.995	1.000	0.995	1.000	0.995	1.000	0.981	1.000	0.000	0.000	0%	0%

Quadro 25: Cálculo de variância dos experimentos 5 e 6.

A principal contribuição, advinda da execução do sexto experimento, está relacionada com a constatação da influência real exercida pelo conhecimento especialista envolvido, uma vez que a partir da confiança que o especialista tem sobre um valor foi possível ter alterado tanto o tipo de resultado obtido quanto o intervalo de confiança associado.

Ressalta-se, mais uma vez, que embora estes experimentos tenham considerado um domínio não específico da área de medicina, é possível reproduzir os mesmos experimentos empregando um domínio diferente, o que necessitaria, invariavelmente da presença de especialistas médicos, o que não foi possível no momento da realização destes.

Além disso, embora nestes experimentos tenha sido empregado um domínio de apenas quatro componentes, entende-se que no monitoramento remoto da saúde humana outros elementos podem ser listados como parte do domínio e, a atribuição de Fatores de Certeza aos experimentos possibilita ao especialista participar ativamente deste tipo de análise.

Outro aspecto importante está relacionado aos fatores de certeza que foram atribuídos às evidências. Entende-se que, um dos trabalhos futuros advindos dessa investigação, pode ser o emprego do cálculo das incertezas contextuais na formação das massas de probabilidades associadas a cada evidência.

4.5.2 Decisões e evolução dos algoritmos

Durante a concepção do processo várias decisões foram tomadas, das quais se destacam:

- a) Criação de base de regras. No desenvolvimento do PRANINC, uma das primeiras decisões foi a respeito de como as massas de probabilidade poderiam ser calculadas.
Inicialmente pensou-se em gerar números pseudoaleatórios cuja variação estaria no intervalo de $[0,1]$ com somatório total e obrigatório de um para as massas. Entretanto, ao se analisar o domínio de aplicação do experimento decidiu-se utilizar informações relacionadas ao conhecimento especialista que pudesse dar mais sustentação às regras empregadas.
- b) Emprego de fatores de certeza como índices na base de regras: o emprego dos fatores de certeza possibilita que especialistas analisem as regras e atribuam valores entre -1 e 1 indicando descrer ou crer nas afirmações feitas.
- c) Inclusão das variáveis Temperature e Motion a partir do experimento 2. Tais variáveis foram inseridas capturadas durante o monitoramento dos pacientes, mas apenas considerados a partir do segundo experimento.
- d) Cálculo das incertezas relacionadas aos sensores. O emprego dos cálculos de incertezas sobre medições foi uma das decisões mais importante em toda a definição do processo, pois a partir dessa foi possível constatar a necessidade em se especificar as incertezas contextuais e informar o grau de influência que estas exercem sobre o resultado final obtido.

Entende-se que os valores que influenciam os dados obtidos por sensores devem ser relatados a aqueles que recebem as informações obtidas pelo sistema de monitoramento remoto da saúde humana, cabendo a este decidir sobre qual o melhor direcionamento e diagnóstico em cada caso, mas sabedor das incertezas que estão relacionadas a esses dados.

4.6 Comentários sobre o capítulo.

Neste capítulo foi descrito o processo PRANINC e os experimentos realizados na investigação. Além destes, foram relatados os estudos de casos passo a passo para identificação dos cálculos de massas de probabilidade através do emprego de fatores de certeza, os quais podem ser atribuídos pelo especialista.

Também foram descritas as variáveis empregadas nos experimentos, os cálculos empregados e os arquivos com dados fisiológicos. Por último, foi realizada a análise dos experimentos e a descrição das decisões pertinentes à evolução do processo proposto para analisar incertezas em cenários de monitoramento remoto da saúde humana.

5. RESPOSTAS ÀS QUESTÕES DE PESQUISA

Inicialmente, foram levantadas as questões de pesquisa que deveriam nortear o processo de investigação. Este capítulo tem como objetivo apresentar as respostas a essas questões.

a) Quais informações contextuais são caracterizadas como incertas no monitoramento, através de sensores, da saúde do paciente diabético e hipertenso?

Esta questão diz respeito à identificação e especificação de informações contextuais incertas presentes no monitoramento da saúde humana através de sensores. Tal identificação foi realizada através do emprego de dados reais de pacientes diabéticos e hipertensos em ambiente de simulação.

Segundo relatos médicos, as informações do contexto em que o paciente se encontra influenciam em sua condição. Nos experimentos realizados não foi possível observar a influência direta das variáveis Temperature e Motion sobre os dados fisiológicos dos pacientes. Porém, procurou-se observá-las através do resultado dos intervalos de crença (IC) calculadas ao final de cada entrada de evidência resultante do emprego do processo PRANINC.

Entende-se que, além das variáveis envolvidas nos experimentos outras fontes de dados interferem fortemente, tais como ruído e luminosidade, que atualmente podem ser capturados através de sensores.

Neste trabalho não se buscou analisar o diagnóstico médico ou ainda orientar o especialista ao tipo de diagnóstico que este poderia conceder ao paciente monitorado, apenas foram considerados conhecimentos especialistas que fornecem subsídio à afirmação de que o contexto influencia na condição do paciente monitorado e que este deve ser considerado em qualquer monitoramento remoto da saúde humana.

b) De que maneira a teoria da evidência de Dempster-Shafer e o modelo de Fatores de Certeza podem ser empregados na análise de incertezas associadas aos sistemas de monitoramento da saúde humana através de sensores?

A teoria de Dempster-Shafer tem sido amplamente usada no estudo de incertezas e, mais recentemente no estudo da fusão de sensores, demonstrando

sua capacidade de emprego no cenário desta pesquisa. Tem-se que com esta teoria as evidências capturadas e os aspectos de incertezas podem ser considerados em conjunto no diagnóstico do paciente monitorado.

Como foi possível observar nos experimentos realizados (Seção 4.4) ocorreram diferenças entre os algoritmos de Dempster-Shafer que consideraram ou não informações contextuais repassadas pelos sensores que representaram o contexto do paciente.

Embora, os experimentos tenham empregado um domínio restrito aos tipos de incertezas (Incerteza Estatística, Cenário Incerto, Incerteza Reconhecida e Total Ignorância), é possível que sejam aplicados em diferentes domínios empregando critérios semelhantes, como os Fatores de Certeza e calculando-se suas possibilidades de ocorrência. Por exemplo, ao invés de se usar os tipos de incerteza seria possível empregar tipos de enfermidades dadas as evidências.

Um aspecto importante observado, diz respeito à solidez do PRANINC, uma vez que é consolidado pela teoria de DS no sentido fornecer direcionamentos para a realização de calcular necessários e firmes, uma vez que as massas sempre somam um total de 1 (um) e que seus procedimentos são coerentes.

c) Qual a diferença entre o diagnóstico médico que não considera os aspectos tecnológicos do monitoramento da saúde humana através de sensores e aquele que o considera?

O diagnóstico médico possui elementos de incertezas intrínsecos a área médica. Por outro lado, ao se associar as incertezas inerentes à tecnologia empregada no monitoramento baseado em sensores é importante o diagnóstico médico também as considere uma vez que os dados manipulados no monitoramento podem ser permeados por incertezas.

Com o resultado se observou que as incertezas contextuais influenciaram no resultado dos intervalos de crença e estas devem ser consideradas pelos médicos. Certamente essas considerações dificilmente seriam compreendidas se seus direcionamentos apenas indicassem números probabilísticos ou de possibilidades, assim entende-se que os valores relacionados a possíveis fontes de incertezas relacionadas aos sensores empregados no monitoramento precisam ser apresentados e assim oferecer ao médico melhores condições de tomada de decisão.

6. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho apresenta conclusões acerca do emprego de uma teoria matemática como é a Teoria da Evidência de Dempster Shafer e do Modelo de Fatores de Certeza, como fundamentos na concepção de um processo para a análise de informações contextuais incertas presentes no monitoramento da saúde humana através de sensores – processo PRANINC.

O cenário médico é permeado de incertezas, e estas podem ser observadas por diferentes teorias que analisam seus comportamentos. Nos experimentos apresentados neste trabalho, o processo PRANINC foi aplicado com o intuito de analisar inicialmente a influência que o contexto pode ter sobre os resultados obtidos em um monitoramento.

Os resultados alcançados pelo primeiro e segundo experimentos possibilitaram confirmar as afirmações feitas no início da pesquisa, como a que diz respeito à influência do contexto sobre os resultados dos monitoramentos e das informações contextuais incertas sobre os resultados obtidos nestes monitoramentos. Embora os valores apresentados tenham sido pouco significativos entende-se que em um monitoramento com mais dados essa influência pode ser mais notória.

Outra meta do PRANINC era observar a influência das informações incertas sobre o resultado dos dados monitorados. Para tanto se buscou analisar a diferença entre os dados obtidos com e sem os valores de incertezas. Essa análise ocorreu com a inclusão do cálculo do nível de precisão adotada por possíveis sensores empregados nesse tipo de experimento.

A partir dos cálculos de incertezas associados aos sensores empregados no monitoramento, realizados no sexto experimento, foi possível alcançar o principal objetivo do trabalho, que era constatar a influência das informações contextuais incertas sobre os dados capturados por sensores. Essa constatação foi possível devido aos níveis de precisão de cada sensor, que foram considerados nestes últimos experimentos. Considera-se entretanto que para isso foi importante que houvesse a interpretação do especialista quanto a sua confiança nos dados obtidos pelos sensores.

O processo de análise de incertezas contextuais apresentado neste trabalho pode ser realizado sobre outros dados, tais como, valores que possam ser usados

como fontes de incertezas contextuais em sensores, na tecnologia de comunicação e na interação entre as variáveis comportamentais e ambientais sobre a variável fisiológica.

Reconhece-se a necessidade de continuidade deste trabalho, o que inclui a realização *in loco* destes experimentos, em ambiente fechado e aberto (a residência do monitorado), empregando tecnologias específicas para os sensores e para a transmissão.

No âmbito médico uma importante verificação poderia ser a influência das variáveis contextuais – comportamento e ambiente - sobre a saúde do paciente. Entende-se que a quantificação deste tipo de influência possibilitar realizar medições mais precisas, inclusive em cenários em que a tecnologia de sensores é empregada de maneira invasiva.

Por ser esta pesquisa de caráter multidisciplinar sobre uma área de aplicação recente entende-se que qualquer avanço, no emprego da tecnologia de sensores no monitoramento da saúde humana, depende da garantia que se tenha sobre os resultados alcançados. Assim, investigações como esta revelam a necessidade de maior integração entre as áreas envolvidas, para que os cuidados necessários com a saúde humana prevaleçam.

REFERÊNCIAS

AL, Goldberger; LAN, Amaral; L, Glass; JM, Hausdorff; PCh, Ivanov; RG, Mark; JE, Mietus; GB, Moody; C-K, Peng; HE, Stanley. **PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: Components of a New Research Resource for Complex Physiologic Signals**. Circulation 101(23):e215-e220 [Circulation Electronic Pages; <http://circ.ahajournals.org/cgi/content/full/101/23/e215>]; 2000 (June 13).

ABOWD, G. D.; MYNATT, E. D. **Charting past, present, and future research**. In: Ubiquitous Computing. ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI), v. 7, n.1, p. 29-58, 2000.

AMD. **Wellness Connected Wireless Blood Pressure Monitor. UA-851THX Wireless Blood Pressure Monitor Manual**. Disponível em: <http://www.andonline.com/index.php> Acesso em: Agosto, 2012.

BAKER, C. S R.; BELKA, S.; BENHABIB, M. **Wireless Sensor Networks for Home Healthcare**. 21st International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (AINAW'07), IEEE. (2007)

BARBOSA, T. M. G. A. **Uma arquitetura de rede de sensores do corpo humano**. Tese de doutorado em Engenharia Elétrica. Universidade de Brasília. 2008

BARROSO, Carlos; ARAUJO, Emerson; et. al. **Sensores**. Universidade Metodista de Piracicaba. Engenharia de Controle e Automação. Santa Barbara D'Oeste, 2008. Disponível em: < <http://pt.scribd.com/doc/43785722/Sensores-1>>, Acesso em: 05 out. 2011.

BARUA, M.; ALAM, M.S.; XIAOHUI, Liang; Xuemin, Shen. **Secure and quality of service assurance scheduling scheme for WBAN with application to eHealth**. In Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 2011 IEEE.

BAUER, J. **Identification and Modeling of Contexts for Different Information Scenarios in Air Traffic**. Mar. 2003. Diplomarbeit.

BENETOS A; THOMAS F; BEAN K; GAUTIER S; SMULYAN H; GUIZE L. **Prognostic value of systolic and diastolic blood pressure in treated hypertensive men**. Arch Intern Med. 2002;162:577-581

BETTINI, Claudio; BRDIZKA, Oliver; HENRICKSEN, Karen; INDULSKA, Jadwiga; NICKLAS, Daniela; RANGANATHAN, Anand; RIBONI, Daniele. **A survey of context modeling and reasoning techniques: Pervasive and Mobile Computing**. Vol. 6, N°. 2. (09 April 2010), pp. 161-180. doi: 10.1016/j.pmcj.2009.06.002 Key: citeulike:4809680.

BITENCORT JUNIOR, Benedito Rodrigues. **Fusão de Dados paralela em rede de sensores sem fio densas utilizando algoritmo genético**. Dissertação de mestrado. Disponível em <http://das.ufsc.br/~montez/publications/2008%20Benedito.pdf>

BRASIL. Sociedade Brasileira de Cardiologia / Sociedade Brasileira de Hipertensão / Sociedade Brasileira de Nefrologia. **VI Diretrizes Brasileiras de Hipertensão**. Arquivo Brasileiro de Cardiologia 2010; 95(1 supl.1): 1-51.

_____. Ministério da Saúde. Departamento de Atenção Básica. Área Técnica de Diabetes e Hipertensão Arterial. **Hipertensão arterial sistêmica (HAS) e Diabetes Mellitus (DM)**. Ministério da Saúde, Departamento de Atenção Básica. Área Técnica de Diabetes e Hipertensão Arterial. – Brasília: Ministério da Saúde, 2001.

CABRAL, PAULO, 2004. **Erros e Incertezas nas Medições**. Instituto Eletrotécnico Português.

CALIL, B. M., **Apostila de automação industrial**. Disponível em: http://www.argeek.com.br/Colegio_Unitau/Professor_Calil/Apostila_Automacao_Industrial.pdf. Acesso em março de 2012.

CARVALHO, S. T.; ERTHAL, M.; MARELI, D. Monitoramento Remoto de **Pacientes em Ambiente Domiciliar**. In: Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores, Salão de Ferramentas, 2010, Gramado.

COPE, Eric. **Estimating Human Movement Using a Three Axis Accelerometer**. Tese de doutoramento. Universidade do Estado do Arizona, 2007. Disponível em: <http://cope-et-al.com/wp-content/uploads/2009/03/ericcopeqe2007.pdf>

COPETTI, A.; LEITE, J. C. B.; LOQUES, O.; BARBOSA, T. P. C.; NOBREGA, A. C. L. **Monitoramento Inteligente e Sensível ao Contexto na Assistência Domiciliar Telemonitorada**. Anais do XXVIII Congresso da SBC. SEMISH. 12 a 18 de julho, 2008. Belém, Brasil.

CHEN, G.; KOTZ, D. **A Survey of Context-Aware Mobile Computing Research**. [S.l.]. Disponível em: www.cs.dartmouth.edu/~dfk/papers/chen:survey-tr.pdf. Acesso em outubro 2010.

CHEN KY, BASSETT DR Jr. **The technology of accelerometry-based activity monitors: current and future**. Med Sci Sports Exerc 2005;37(Suppl 11):S490-500.

CHUNG, H.; KIM, J. **Modeling Uncertainty and Inconsistency in Ontology-Based Context-Awareness Computing**. Computer Science and its Applications, 2009. CSA '09. 2nd International Conference on, vol., no., pp.1-5, 10-12 Dec. 2009

CLEAR, A. K.; DOBSON, S.; NIXO, P. **An approach to dealing with uncertainty in context-aware pervasive systems**. In *Proc. of the UK/IE IEEE SMC Cybernetic Systems Conference*, 2007.

CROSSBOW. **Wireless Sensor Networks. Guia de Referência de produto**. (2007) Disponível em: http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/sensores/Equipamiento/Wireless/Crossbow_Wireless_2007_Catalog.pdf.

CURATEC FREMTIDENS TELEMEDICINI. **My Gluco Health**. Disponível em: <http://www.curatec.dk/upl/pages/dioabetes/MyGlucoHealthbrochure.pdf>. Acesso em: 12 Nov. 2011.

DEMPSTER AP, Yager RR, Liu L. **The Classic Works on the Dempster–Shafer Theory of Belief Functions**. Springer; 2008.

DEY, A.K. AND ABOWD, G.D. **Towards a better understanding of context and context-awareness**. Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2000), The Hague, The Netherlands.

Dey, Anind K. **Understanding and Using Context. Personal and Ubiquitous Computing**. Volume 5, Number 1 (2001), 4-7, DOI: 10.1007/s007790170019 <http://www.springerlink.com/content/1d9grxkqvquhpwkw/>

FIGUEIREDO, Ligia J.; GAFANIZ, Ana R.; LOPES, Gustavo S.; PEREIRA, Rúben. **Aplicações de Acelerômetro**. Monografia, Lisboa, Dezembro 2007. Disponível em: nebm.ist.utl.pt/repositorio/download/375.

FONSECA, J. F. C. **Aplicação de técnicas de fusão/integração sensorial de dados no levantamento do relevo de objetos**. Universidade de Minho, 1999. Doctor Thesis.

FRECKMANN, Guido; BAUMSTARK, Annette; JENDRIKE, Nina; ZSCHORNACK, Eva; KOCHER, Serge; TSHIANANGA, Jacques; HEISTER, Frank; HAUG, Cornelia. **System Accuracy Evaluation of 27 Blood Glucose Monitoring Systems According to DIN EN ISO 15197**. DIABETES TECHNOLOGY & THERAPEUTICS. Volume 12, Number 3, 2010. © Mary Ann Liebert, Inc. DOI: 10.1089=dia.2009.0128

FURTADO, José Leite. **Robô Autônomo de Eixo Único**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola Politécnica. Monografia, 2006. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10002167.pdf>

GONÇALVES, P. R. P.; **Monitorização Remota de Pacientes em Ambulatório**. Dissertação de mestrado. 2008. Biblioteca digital da Universidade de Fernando Pessoa. Disponível em: <https://bdigital.ufp.pt/dspace/handle/10284/1226>.

GU, T.; PUNG, H. K.; ZHANG, D. Q. **A Bayesian approach for dealing with uncertain contexts**. In Proceedings of the 2nd International Conference on Pervasive Computing. Austrian Computer Society, April 2004.

HECKERMAN, D. **Probabilistic interpretations for MYCIN's certainty factors**. In Proceedings of the Workshop on Uncertainty and Probability in Artificial Intelligence, Los Angeles, CA, pages 9-20. Association for Uncertainty in Artificial Intelligence, Mountain View, CA, August 1985. Also in L. Kanal. and J. Lemmer, editors, Uncertainty in Artificial Intelligence, pages 167-196. North-Holland, New York, 1986.

HENRICKSEN, K.; INDULSKA, J.; **Modeling and using imperfect context information**. Pervasive Computing and Communications Workshops, 2004. Proceedings of the Second IEEE Annual Conference on, vol., no., pp. 33- 37, 14-17 March 2004 doi: 10.1109/PERCOMW.2004.1276901.

HUANG, Li; ASHOU EI, Maryam; YAZICIOGLU, Firat; PENDERS, Julien; VULLERS, Ruud; DOLMANS, Guido; MERKEN, Patrick; HUISKEN, Jos; DE GROOT, Harmke; HOOFF, Chris Van; GYSELINCKX, Bert. **Ultra-Low Power Sensor Design for Wireless Body Area Networks: Challenges, Potential Solutions, and**

Applications. International Journal of Digital Content Technology and its Applications Volume 3, Number 3, September 2009

INCERPI, Paulo Henrique. **Incerteza de Medição - Método Alternativo na análise da conformidade de produto.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Itajubá,. 2008. Disponível em: <http://www.unifeijr.com.br/ScriptLattes/iepg/OC-0.html>

JANÉ, D. A. **Uma introdução ao estudo da lógica Fuzzy.** Hórus – Revista de Humanidades e Ciências Sociais Aplicadas, Ourinhos/SP, N° 02, 2004.

JOHNSON, Thienne M. **Rede de Sensores sem Fio (RSSF).** 2006. Disponível em: <http://www.wirelessbrasil.org/wirelessbr/colaboradores/thienne_johnson/rssf-intro.htm>. Acesso em: 11 Nov. 2011.

JONG, M. **Understanding the link between hypertension and diabetes.** HypertensionHelp.com.Webcast (2002, May 16).

JUNG, J.; HA, K.; LEE, Jeonwoo. **Wireless Body Area Network in a Ubiquitous Healthcare System for Physiological Signal Monitoring and Health Consulting.** International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition. Vol. 1, No. 1, Pag. 47 – 54. 2008.

KO, Jeonggil; LIM, Jong Hyun; CHEN, Yin; MUSVALOIU-E, Rvázvan; TERZIS, Andreas; MASSON, Gerald M.; GAO, Tia; DESTLER, Walt; SELAVO, Leo; DUTTON, Richard P.. **MEDiSN: Medical emergency detection in sensor networks.** Transactions on Embedded Computing Systems (TECS) 2010.

LEE, H.; PARK, K.; LEE, B. **Issues in data fusion for healthcare monitoring.** Proceedings of the 1st international conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments, July 16-18, 2008, Athens, Greece [doi>10.1145/1389586.1389590]

LOKE, S. **Context-Aware Pervasive Systems: Architectures for a New Breed of Applications.** Auerbach Publications. Taylor & Francis Group. 2006.

LOPES, W. A.; Jafelice, R. S. M.. **Modelagem Fuzzy de Diagnóstico Médico e Monitoramento do Tratamento da Pneumonia.** Revista Biomatemática n.º 15, 2005. Pag. 77-96 ISSN 1679-365X.

LORINCZ, Konrad, CHEN, Bor-rong; CHALLEN, Geoffrey Werner; CHOWDHURY, Atanu Roy; PATEL, Shyamal; BONATO, Paolo; WELSH, Matt . **Mercury: a wearable sensor network platform for high-fidelity motion analysis.** SenSys '09: Proceedings of the 7th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems.

MACEDO, Daniel Fernandes. (2006). **Um Protocolo de Roteamento para Redes de Sensores sem Fio Adaptável por Regras de Aplicação.** <http://www.wrp.lip6.fr/~macedo/publications/dissertacao.pdf>..

MAL-SARKAR, S.; SIKDER, I. U.; YU, C.; KONANGI, V. K.. **Uncertainty-aware Wireless Sensor Networks**. International Journal of Mobile Communications 7(3), 330-345. (2009)

MARCELINO, I. P. **Estruturação de um sistema de monitorização remota e de prevenção de infoexclusão de idosos no seu domicílio**. Dissertação de Mestrado. Repositório digital: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10348/175>. 2008.

MARQUES, R.; DUTRA, I. **Redes Bayesianas: O que são, para que servem, algoritmos e exemplos de aplicações**. Disponível em <http://www.cos.ufrj.br/ines/courses/cos740/leila/cos740/Bayesianas.pdf>. 2005. Acesso em abri 2011.

MASSAD, E; Rocha, A F. (2003). **A Construção do Conhecimento Médico**. Prontuário Eletrônico do Paciente na Assistência, Informação e Conhecimento Médico, p 21-23.

MCKEEVER, Susan et. al.. **A Context Quality Model to Support Transparent Reasoning with Uncertain Context**. Quality of Context Lecture Notes in Computer Science, 2009, Volume 5786/2009, 65-75, DOI: 10.1007/978-3-642-04559-2_6.

MION JR D. M; NOBRE, F.; OIGMAN W. **MAPA – Monitorização Ambulatorial da Pressão Arterial**. 4ª Edição. Ed. Atheneu 2008.

MILENKOVIĆ, A., OTTO, Emil Jovanov, C.. **Wireless sensor networks for personal health monitoring: Issues and an implementation Computer Communications**. Special issue: Wireless Sensor Networks: Performance, Reliability, Security, and Beyond, Vol. 29 (2006), pp. 2521-2533.

MILECH, Adolpho; GOLBERT, Airton et al. **Tratamento e acompanhamento do Diabetes Mellitus**. Diretrizes da Sociedade Brasileira de Diabetes. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: < <http://www.diabetes.org.br/educacao/docs/diretrizes.pdf> >. Acesso em: 31 ago. 2011.

MILECH, Adolpho; HALPERN, Alfredo. **Diagnóstico e Classificação do Diabetes Mellitus tipo 2**. In: CONSENSO BRASILEIRO SOBRE DIABETES. Disponível em: <http://bvsm.sau.de.gov.br/bvs/publicacoes/consenso_bras_diabetes.pdf>. Acesso em: 31 ago. 2011.

MOODY, G.B.; MARK, R.G.; GOLDBERGER, A.L.; **"PhysioNet: a Web-based resource for the study of physiologic signals"**. Engineering in Medicine and Biology Magazine, IEEE , vol.20, no.3, pp.70-75, May-June 2001. doi: 10.1109/51.932728.

MOHANAVALLI, S.S.; ANAND, S.. **Security architecture for at-home medical care using sensor network**. International Journal of Ad hoc, Sensor & Ubiquitous Computing (IJASUC) Vol.2, No.1, March 2011.

NAKAMURA, E. F. **Fusão de Dados em rede de sensores sem fio**. Tese de Doutorado. UFMG, 2007. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br>

NASSER, N. CHEN, Y. **Anytime and Anywhere Monitoring for the Elderly**. IEEE 6th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications. 2010.

NATIONAL, Semiconductor. **LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors**. 2000. Disponível em: www.national.com

NGO, H. Q.; SHEHZAD, A.; PHAM, K. A. **Developing Context-Aware Ubiquitous Computing Systems with a Unified Middleware Framework**. In: Proc. of Embedded and Ubiquitous Computing: EUC 2004, LNCS Volume 3207, Springer-Verlag (2004)

NG, H. S. S.; M. L.; TAN, C. M.; WONG, C. C. **Wireless Technologies for telemedicine**. BT Technology Journal. Vol. 24. Nro.2. Apr. 2006.

OMG. Object Management Group. **Business Process Model and Notation (BPMN) – 2011**. Disponível em: <http://www.omg.org/spec/BPMN/2.0>. Acesso em 2012.

OMRON. **Automatic Wrist Blood Pressure Monitor - Instruction Manual**. Disponível em: <http://healthcare.omron.co.in/healthcare/product/blood-pressure/pdf/HEM-6111.pdf>. Acesso em dezembro de 2012.

PADOVITZ, A., LOKE, S.W., AND ZASLAVSKY, A. **On Uncertainty in Context-Aware Computing: Appealing to High-level and same-level context for low-level context Verification**. In S K Mostefaoui et. al. (eds), Proceedings of the 1st International Workshop on Ubiquitous Computing 2004, Porto , Portugal.

PADOVITZ, A.; LOKE, S. W.; ZASLAVSKY, A.; BARTOLINI, C.; BURG, B. **An approach to data fusion for context-awareness**. In Proceedings of the 5th International Conference on Modeling and Using Context: LNAI 3554, pages 353–367, Paris, July 2005. Springer Berlin / Heidelberg.

PADOVITZ A., ZASLAVSKY A., LOKE S. W. **A Unifying Model for Representing and Reasoning About Context Under Uncertainty**. 11th International Conference on Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems (IPMU), July 2006, Paris, France.

PERTTUNEN, M.; RIEKKI, J; LASSILA, O. **Context Representation and Reasoning in Pervasive Computing: a Review**. International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering Vol. 4, No. 4, October, 2009

PY, Mônica Xavier. **Sistemas Especialistas: uma introdução**. Disponível em: <<http://www.inf.ufrgs.br/procpar/disc/cmp135/trabs/mpy/sistemasespecialistas.pdf>>. Acesso em: Marco 2011.

QUEIROZ, Daniel Nascimento; PAZ, Eliane Maria Barros Silva; VIANA, Liliana Soares et. al. **Observatório Epidemiológico**. In: SEMANA EPIDEMIOLÓGICA, 46,. Teresina, 2010. Publicação Científica do Curso de Bacharelado em Enfermagem do CEUT. 2010. n. 35. v. 19. Acesso em: 14 out. 2011. Disponível em: <<http://www.ceut.com.br/observatorio/edicao%2035.pdf> > ,

RANGANATHAN, A.; CAMPBELL, R.H.. **A Middleware for Context-Aware Agents in Ubiquitous Computing Environments**. ACM/IFIP/USENIX Int'l Middleware Conf., LNCS 2672, Springer-Verlag, 2003;

RANGANATHAN, A.; AL-MUHTADI, J.; CAMPBELL, R. H.. **Reasoning about Uncertain Contexts in Pervasive Computing Environments**. IEEE Pervasive Computing 3, 2 (Apr. 2004a), 62-70. DOI=
<http://dx.doi.org/10.1109/MPRV.2004.131682>. 2004

RANGANATHAN, A.; AL-MUHTADI, J.; CAMPBELL, R. H.; MICKUNAS, D.. **Middlewhere: a middleware for location awareness in ubiquitous computing applications**. In Middleware 04: Proceedings of the 5th ACM/IFIP/USENIX International Conference on Middleware, pages 397–416. Springer-Verlag New York, Inc., 2004b.

RAJENDRA P. Srivastava. **An introduction to evidential reasoning for decision making under uncertainty: Bayesian and belief function perspectives**. International Journal of Accounting Information Systems 12 (2011) 126–135.

ROCHA, A. F.; NASCIMENTO, F. A. O.; BARBOSA, T. M. G. A.; SENE JUNIOR, I. G.; CARVALHO, H. S.. **Uma rede de sensores para monitoração do corpo humano com suporte à programação**. Revista Brasileira de Engenharia Biomédica, v. 23, n. 3, p. 231-244. Dez. 2007.

ROMANZINI, M. et al. **Accelerometers thresholds to estimate physical activity intensity in children and adolescents: a systematic review**. Rev. Bras. Cineantropom. Desempenho Hum. 2012, 14 (1):101-113.

SALVADOR, ZIGOR; LARREA, MIKEL; LAFUENTE, ALBERTO. **Infrastructural Software requirements of pervasive health care**. Proceedings of IADIS International Conference Applied Computing. 2007. Disponível em:
www.iadis.net/dl/final_uploads/200702C081.pdf

SANTOS, A. J. **Geração automática de código para redes de sensores sem fio baseado em componentes de software**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Amazonas, 2011.

SANTOS, M. R.; Bax, M. P.; Pessanha, C.. **Uma Leitura Ontológica Da Norma ISO 13606 para o registro Eletrônico de Saúde**. Anais Do Xii Congresso Brasileiro De Informática Em Saúde (Cbis 2010).

SANTOS, M. O. NICOLETTI, M. C. **O Uso do Modelo de Bayes em Sistemas Baseados em Conhecimento**. Relatório Técnico do Departamento de Computação, São Carlos, DC-UFSCar, 19 p. 1996.

SALVADOR, ZIGOR; LARREA, MIKEL; LAFUENTE, ALBERTO. **Infrastructural Software requirements of pervasive health care**. Proceedings of IADIS International Conference Applied Computing. 2007. Disponível em:
www.iadis.net/dl/final_uploads/200702C081.pdf

SARDINI, E.; SERPELLONI, M.; OMETTO, M.. **Multi-parameters wireless shirt for physiological monitoring**. On Medical Measurements and Applications

Proceedings (MeMeA), 2011 IEEE International Workshop. Dept. of Inf. Eng., Univ. of Brescia, Brescia, Italy.

SENE JUNIOR, I. G.; BARBOSA, T. M. G. A.; ROCHA, A. F. **Monitoração da temperatura corporal baseada em uma rede de sensores sem fios.** In: X Congresso Brasileiro de Informática em Saúde (CBIS), 2006, Florianópolis.

SILVA, Leonardo Assis da; SIMÕES, Priscyla Waleska Targino de Azevedo; MATTOS, Merisandra Côrtes de; CECHINEL, Cristian; SANTOS, Robson Luiz dos. **Utilização da Teoria de Dempster-Shafer no Desenvolvimento de uma Ferramenta para Modelagem do Conhecimento em Ortopedia.** In: XI Congresso Brasileiro de Informática em Saúde (CBIS'2008), 2008, Campos do Jordão / SP. Anais do XI Congresso Brasileiro de Informática em Saúde. São Paulo / SP: SBIS, 2008.

_____; SIMÕES, Priscyla Waleska Targino de Azevedo; MATTOS, Merisandra Côrtes de; CECHINEL, Cristian. **Representação da Teoria de Dempster-Shafer a partir de uma Rede Bayesiana de Lombalgia.** In: IV Congresso Sul Brasileiro de Computação (SulComp 2008), 2008, Criciúma / SC. Anais do IV Congresso Sul Brasileiro de Computação. Criciúma / SC: UNESC, 2008.

BROSSO, Maria Ines Lopes. **Autenticação contínua de usuários em redes de computadores.** 2006. Tese (Doutorado em Sistemas Digitais) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3141/tde-08122006-170242/>>. Acesso em: 2012-08-29.

SHIMMER Research. **Documentation.** Disponível em: <http://www.shimmer-research.com/download/documentation>. Acesso em jan-2012.

SHNAYDER, V.; CHEN, B.; LORINCZ, K.; Jones, T. R. F. Fulford; WELSH, M. **Sensor Networks for Medical Care.** Technical Report TR-08-05, Division of Engineering and Applied Sciences, Harvard University, 2005.

SBE. Sociedade Brasileira de Diabetes. **Diretrizes da Sociedade Brasileira de Diabetes.** 2009. 3ª Ed. Itapevi: A. Araújo Silva Farmacêutica. SP. ISBN 978-85-60549-30-6

SILVA, Fabrício Aguiar; BRAGA, Thais Regina de Moura; NOGUEIRA, José Marcos Silva. **Tecnologia de nós Sensores sem Fio.** Revista Controle & Instrumentação – Edição nº 92 – Maio de 2004

SILVA, J. D. S. **Uma abordagem híbrida por Dempster-Shafer e algoritmos genéticos para o problema de correspondência em estereoscopia.** 1999. 298 p. (INPE-7895-TDI/743). Tese (Doutorado em Computação Aplicada) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Jose dos Campos, 1999. Disponível em:<<http://urlib.net/sid.inpe.br/deise/2000/11.06.11.28>>. Acesso em: Julho de 2011.

SORRENTINO, S.; HAUSMAN. **The effects of hypertension.** Vibrant Life. Disponível em: <http://www.morefocused.com/articles/hypertension/health-issues.php>. (1996, Jan).

SHNAYDER V, CHEN B, Lorincz K, Fulford-Jones TRF, Welsh M (2005) **Sensor networks for medical care**. Harvard University Technical Report TR-08-05

STRANG, T.; LINNHOFF-POPIEN, C.; **A Context Modeling Survey**. In: J. Indulska, D. D. Roure (eds.), Proceedings of the First International Workshop on Advanced Context Modeling, Reasoning And Management, in conjunction with UbiComp 2004, University of Southampton, 2004.

TANG, Y.; AL-SHAER, E.; JOSHI, K.; **Reasoning under Uncertainty for Overlay Fault Diagnosis**. IEEE Transactions on Network and Service Management (2012) 1-14.

THEBAS, Vantuil Manoel. **Características dos Sensores**. Instituto Federal do Espírito Santo. Serra, 2009. Acesso em: 05 out. 2011. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAlCoAF/caracteristicas-dos-sensores-industriais>>.

TRUONG, K. N.; ABOWD, G. D.; BROTHERTON, J. A. **Who, What, When, Where, How: Design Issues of Capture & Access Applications**. In: Proceedings of Ubicomp 2001: Ubiquitous Computing. 2001. 2001. p. 209-224.

TROUNG, B. N; LEE, Y.; LEE, S. **Modeling and Reasoning about Uncertainty in Context-Aware Systems**. Proceedings of the IEEE International Conference on e-Business Engineering, p.102-109, October 12-18, 2005a [doi>10.1109/ICEBE.2005.90]

_____. **Modeling uncertainty in context-aware computing**. Computer and Information Science, 2005. Fourth Annual ACIS International Conference on , vol., no., pp. 676 - 681, 2005b. doi: 10.1109/ICIS.2005.89.

UCHÔA, J. Q.; PANOTIM, S. M.; NICOLETTI, M. C. **Elementos da Teoria de Dempster-Shafer**. Relatório Técnico do Departamento de Computação 007/97. São Carlos, DC-UFSCar, 1997, 34p. Disponível em: www.dc.ufscar.br/~carmo/relatorios/dempster.pdf. Acesso em novembro 2010.

VALGIMIGLI, Francesco. **Overview of the commercially successful Implantable Glucose Sensors: Key features and requirements for Performance, Safety and Reliability**. In: Workshop on Security and Privacy in Implantable Medical Devices (SPIMD), EPFL, Lausanne, April 1st, 2011. Disponível em: <http://si.epfl.ch/page-56975-en.html>

VASCONCELOS Jr, Glauco Pimentel. TinyMonitor – **Um framework para o desenvolvimento de aplicações de monitoramento de sinais vitais de pacientes**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, 2005.

ZIMMER, T. **Towards a Better Understanding of Context Attributes**. Proceedings of the Second IEEE Annual Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops, p.23, March 14-17, 2004.

ZHU, Xiuming; Song Han; Pei-Chi Huang; Mok, A.K.; Deji Chen. **MBStar: A Real-time Communication Protocol for Wireless Body Area Networks**. Conference on Real-Time Systems (ECRTS), 2011 23rd Euromicro.

WALKER, W. E. et al. Defining Uncertainty. **A conceptual basis for uncertainty management in model-based decision support**. Integrated Assessment. 2003. Vol. 4. No. 1, PP. 5-17.

YANG, Che-Chang; HSU, Yeh-Liang. **A Review of Accelerometry-Based Wearable Motion Detectors for Physical Activity Monitoring**. Sensors 2010, 10, 7772-7788; Disponível em: www.mdpi.com/journal/sensors

YU, Fei. JAIN, Raj. **A Survey of Wireless Sensor Network Simulation Tools**. Disponível em: <http://www1.cse.wustl.edu/~jain/cse567-11/ftp/sensor/index.html>. Acesso em Janeiro de 2012.

YE, J.; MCKEEVER, S.; COYLE, L.. **Resolving uncertainty in context integration and abstraction: context integration and abstraction**. Proceedings of the 5th international conference on Pervasive services, July 06-10, 2008, Sorrento, Italy [doi>10.1145/1387269.1387292].

VERONA, ANDRÉ BARBOSA. **Simulação e análise de redes de sensores sem fio aplicadas à viticultura**. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Maringá. 2010. Disponível em: www.din.uem.br. Com acesso em julho 2010.

VILLANUEVA, Juan Moises Maurício. **Fusão de Dados das Técnicas de Tempo de Trânsito Utilizando Transdutores Ultra-Sônicos para Medição da Velocidade do Vento**. Dissertação de Mestrado. Disponível em: http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0510492_09_pretextual.pdf

APENDICES

APENDICE A – EXPERIMENTOS COM LÓGICA FUZZY, REDES BAYESIANAS E TEORIA DE DEMPSTER-SHAFFER.

APENDICE B – TRECHOS DO CÓDIGO DA BASE DE REGRAS PARA EMPREGADAS NOS EXPERIMENTOS.

APENDICE A – EXPERIMENTOS COM LÓGICA FUZZY, REDES BAYESIANAS E
TEORIA DE DEMPSTER-SHAFER.

Introdução

Os experimentos descritos neste Apêndice A foram apresentados em 2011 pela então aluna do curso de Pós Graduação – Doutorado – Kátia Cilene Neles da Silva, como trabalho final na disciplina Técnicas de raciocínio probabilístico em Inteligência Artificial (PCS 5708), na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

O trabalho intitulado por “Raciocínio probabilístico no tratamento de informações incertas em sistemas de monitoramento remoto da saúde humana” foi apresentado em forma de monografia e está descrito neste documento de maneira resumida.

A monografia relata experimentos empregando as técnicas probabilísticas Redes Bayesianas, Lógica Fuzzy e Teoria de Dempster-Shafer com o objetivo de tratar informações contextuais incertas associadas ao monitoramento da saúde humana através de sensores.

A justificativa para este estudo deu-se em razão de que em sistemas de monitoramento remoto os sensores adquirem e coletam dados de um contexto de baixo nível e as técnicas de raciocínio sobre contexto atuam na interpretação/ transformação do contexto para posterior apresentação dos dados em um contexto de alto nível (Figura 25).



Figura 28: Níveis contextuais em sistemas sensíveis ao contexto

Tem-se também que em sistemas de monitoramento remoto da saúde humana é necessário observar além dos aspectos dinâmicos inerentes ao ambiente e a interação entre os elementos de hardware, de software e de pessoas. Faz-se relevante também a representação de informações que, geralmente, não são facilmente visualizadas, mas que influenciam na precisão e no correto funcionamento do sistema, tais como fazem as informações contextuais incertas.

A realização do experimento empregou a escala classificatória de incertezas proposta por Walker (2003) e a análise do modelo genérico de sistemas de monitoramento remoto da saúde humana apresentado na figura 25 – que inclui como

principais elementos o paciente, os sensores, a equipe médica e os sistemas computacionais - é possível propor uma classificação inicial para as incertezas inerentes sistemas de monitoramento remoto da saúde.

Considera-se que uma vez que em sistemas de monitoramento remoto da saúde envolvem o emprego de sensores heterogêneos é importante que pelo menos um conjunto de parâmetros genéricos para a identificação de incertezas seja definido. Destaca-se, no entanto que os parâmetros apresentados nesse trabalho são genéricos e requerem estudo aprofundado para cada elemento do sistema o que inclui a especificação de seus padrões qualitativos.

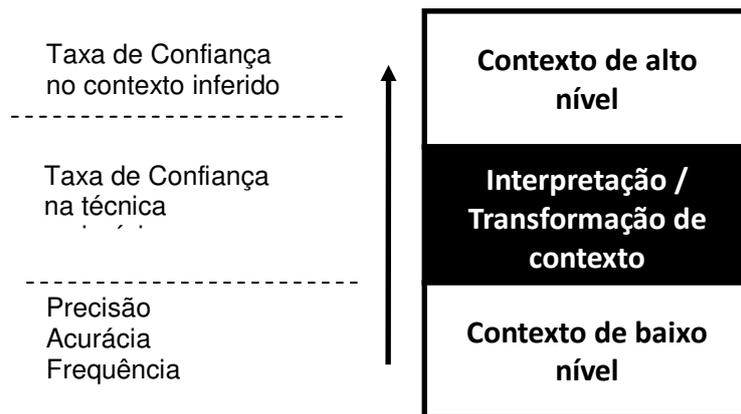


Figura 29: Parâmetros de incerteza para Sistema de monitoramento da saúde humana através de sensores

Onde

- Precisão: indica o intervalo de abrangência de leitura do sensor ou a identificação da parte onde a leitura é mais correta.
- Acurácia: indica a taxa de erro ou frequência de corretude da leitura dos sensores para um dado intervalo de precisão.
- Frequência: usada para apoiar o cálculo da medida de freshness⁷ da leitura dos sensores.
- Taxa de confiança na técnica de raciocínio empregada: é uma medida qualitativa que indica a taxa de confiança na(s) técnica(s) de raciocínio empregadas na interpretação/transformação de contexto.
- Taxa de confiança no contexto inferido: é uma medida qualitativa que indica a taxa de confiança no contexto inferido resultante.

⁷ Freshness: indica o tempo de validade do contexto ou evento até que se torne obsoleto.

A aplicação deste experimento envolve um cenário não real de monitoramento remoto da saúde humana com o objetivo de analisar o comportamento de informações contextuais incertas inerentes a este cenário. Considera-se que os dados usados no experimento sejam capturados através de diferentes sensores.

Um paciente com histórico de ataque cardíaco tem em sua casa diversos sensores instalados, tais como: Ambientais – umidade, temperatura, ruído, luminosidade; Comportamentais: posicionamento, movimentação; Fisiológicos: pressão arterial e frequência cardíaca.

O quadro 20 apresenta os tipos de dados capturados pelos respectivos sensores.

Sensores ambientais	Sensores fisiológicos	Sensores comportamentais
Temperatura	Pressão arterial Sistólica	Movimento
Luminosidade	Pressão arterial Diastólica	Presença
Ruído	Frequência Cardíaca	

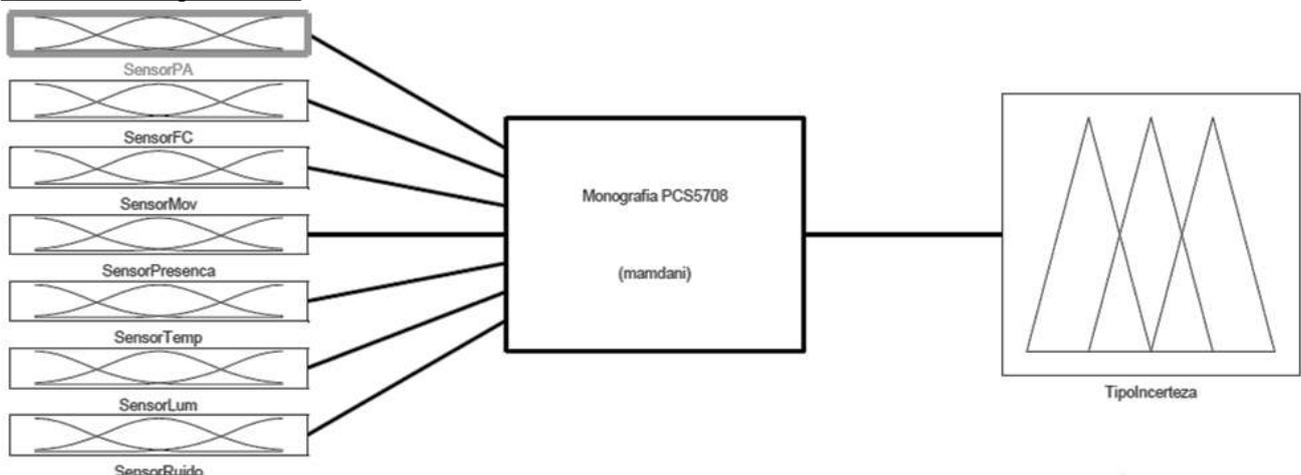
Quadro 26: Sensores utilizados no experimento

O conhecimento especialista envolvido foi fornecido por Mion (2008), que afirma que enquanto uma pessoa está comendo ou caminhando, há um aumento natural na sua pressão arterial ou ainda que a temperatura do ambiente exerça influência sobre a frequência cardíaca do paciente.

a) Experimento com Lógica Fuzzy

Por meio da lógica Fuzzy foram modelados os conjuntos para identificar os principais cenários de incerteza neste tipo de monitoramento, conforme apresentados a seguir:

Variáveis lingüísticas

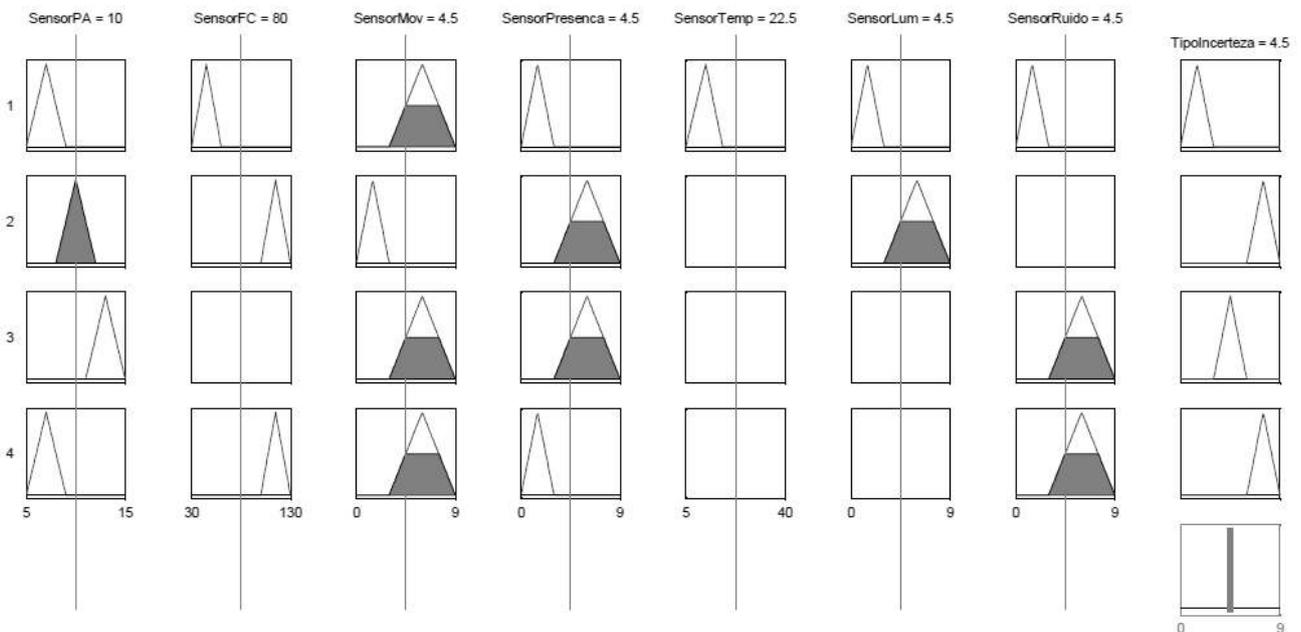


Regras

Destaca-se que estas regras não são conclusivas e foram utilizadas por conhecimento extraído da literatura e pode não estar completo, pode causar diagnósticos incorretos. Porém, para fins de experiência, estão sendo utilizadas.

1. If (SensorPA is baixa) and (SensorFC is baixa) and (SensorMov is ativo) and (SensorPresenca is ativo) and (SensorTemp is baixo) and (SensorLum is ativo) and (SensorRuido is ativo) then (Tipolncerteza is IncertezaEstatistica) (1)
2. If (SensorPA is normal) and (SensorFC is alta) and (SensorMov is inativo) and (SensorPresenca is inativo) and (SensorLum is inativo) then (Tipolncerteza is IgnoranciaReconhecida) (1)
3. If (SensorPA is alta) and (SensorMov is ativo) and (SensorPresenca is inativo) and (SensorRuido is inativo) then (Tipolncerteza is Cenariolncerto) (1)
4. If (SensorPA is baixa) and (SensorFC is alta) and (SensorMov is ativo) and (SensorPresenca is ativo) and (SensorRuido is inativo) then (Tipolncerteza is IgnoranciaReconhecida) (1)

Gráfico



b) Experimento com Rede Bayesiana

Seguindo com o experimento empregando as redes bayesianas tem-se o quadro de distribuição de probabilidades dadas as evidências, as hipóteses e as evidências empregadas. Por fim a figura 27 destaca a rede bayesiana formada.

Quadro de distribuição de probabilidades hipótese dada evidência

SensorMov	Inativo									Ativo									
	Baixa			Normal			Alta			Baixa			Normal			Alta			
SensorPA	Baixa	Normal	Alta	Baixa	Normal	Alta	Baixa	Normal	Alta	Baixa	Normal	Alta	Baixa	Normal	Alta	Baixa	Normal	Alta	
Estatistica	0.2	0.1	0.2	0.5	0.8	0.7	0.1	0.1	0.1	0.4	0.3	0.5	0.4	0.45	0.3	0.4	0.5	0.6	
► Cenario	0.5	0.6	0.5	0.4	0.2	0.3	0.5	0.5	0.6	0.4	0.5	0.45	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.3
Reconhecida	0.3	0.3	0.3	0.1	0	0	0.4	0.4	0.3	0.2	0.2	0.05	0.2	0.05	0.2	0.1	0.1	0.1	

Hipóteses

H1= Incerteza estatística

H2= Cenário de incerteza

H3= Ignorância reconhecida

Evidências:

E1: Sensor Pressão Arterial

E11: Alta

E12: Normal

E2: Sensor Movimento

E21: Ativo

E22: Inativo

E3: Sensor Temperatura

E31: Baixa

E32: Normal

E33: Alta

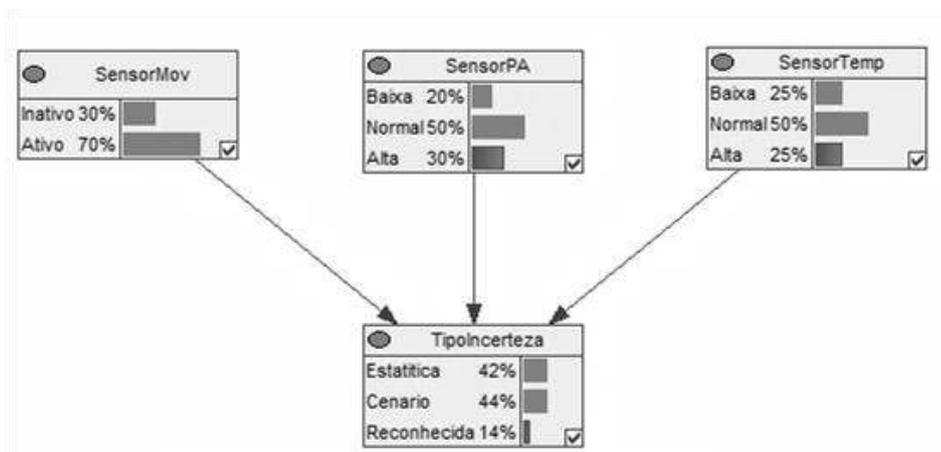


Figura 30: Rede Bayesiana resultante do experimento.

c) Experimento com a Teoria de Dempster-Shafer

Considerando o cenário fornecido deseja-se saber qual o tipo de incerteza Θ associado, dado que o sensor de movimento está “Ativo” e o sensor de PA apresenta indicação de “Alto”.

Para esse cenário considera-se o domínio de classificação de incertezas, conforme destacado abaixo:

Domínio: $\Theta = \{\text{incerteza_estatistica}, \text{cenario_incerto}, \text{incerteza_reconhecida}\}$

Diante desse quadro supõe-se que existe uma confiança de 0.6 na evidência de que o tipo de incerteza indicado é a “Estatística”.

Assim tem-se a atribuição de massas:

$$M_1(\{\text{incerteza_estatistica}\}) = 0.6 \text{ e } M_1(\{\Theta\}) = 0.4$$

Observa-se que a atribuição de 0.4 a $\{\Theta\}$ não atribui nenhum valor aos seus subconjuntos mesmo que estes subconjuntos incluam $\{\text{incerteza_estatistica}\}$ $\{\text{cenario_incerto}\}$ $\{\text{incerteza_reconhecida}\}$.

Novas Evidências: Foi observado que o sensor de presença está “inativo” e sensor de ruído está “inativo”.

Diante das novas evidências nova massa é fornecida:

$$M_2(\{\text{incerteza_estatistica}\}) = 0.4$$

Assim as massas de confiança no tipo de incerteza estatística são as seguintes

$$M_1(\{\text{incerteza_estatistica}\}) = 0.6 \text{ e } M_1(\{\Theta\}) = 0.4$$

$$M_2(\{\text{incerteza_estatistica}\}) = 0.4 \text{ e } M_2(\{\Theta\}) = 0.6$$

Intersecções e conjuntos resultantes

A partir da regra de combinação de Dempster-Shafer

$$m_3(Z) = m_1(Z) \oplus m_2(Z) = \frac{\sum_{X \cap Y = Z} m_1(X) * m_2(Y)}{1 - K}$$

Tem-se o quadro abaixo que mostra as intersecções e os produtos resultantes. Os elementos da tabela são calculados fazendo a intersecção das linhas e colunas para obter os conjuntos resultantes e multiplicando as suas respectivas massas:

	$M_2(\{\text{incerteza_estatistica}\}) = 0.4$	$M_2(\{\Theta\}) = 0.6$
$M_1(\{\text{incerteza_estatistica}\}) = 0.6$	$\{\text{incerteza_estatistica}\} = 0.24$	$\{\text{incerteza_estatistica}\} = 0.36$
$M_1(\{\Theta\}) = 0.4$	$\{\text{incerteza_estatistica}\} = 0.16$	$\Theta = 0.24$

De acordo com a regra de Dempster, os conjuntos comuns resultantes devem ser somados:

$$m_3(\{\text{incerteza_estatistica}\}) = m_1 \oplus m_2(\{\text{incerteza_estatistica}\}) = 0.24 + 0.16 + 0.36 = 0.76$$

$$m_3(\{\Theta\}) = m_1 \oplus m_2(\{\Theta\}) = 0.24$$

Onde:

- $m_3(\{\text{incerteza_estatistica}\})$ representa a confiança na evidência combinada de $\text{incerteza_estatistica}$.
- $m_3(\{\Theta\})$ implica numa informação adicional, pois como ele inclui $\{\text{incerteza_estatistica}\}$, é plausível que contribua na confiança da evidência de $\text{incerteza_estatistica}$. Portanto, a sua massa=0.24, pode ser adicionada à

confiança de 0.76 no conjunto {incerteza_estatistica} para produzir a máxima confiança de que ele seja uma incerteza_estatistica.

Assim, existe um intervalo de confiança na evidência incerteza_estatistica entre 0.76 e 1.0, representado por [0.76 e 1.0]. Ou seja, o limite inferior (Confiança – Bel - *Belief*) é 0.76 e o limite superior (Confiança Plausível – Pls - *Plausibility*) é 1.0.

Assim as funções de confiança são:

- $Bel_1 \oplus Bel_2 (\{ incerteza_estatistica \}) = m_1 \oplus m_2 (\{ incerteza_estatistica \}) = 0.76$
- $Bel_1 \oplus Bel_2 (\Theta) = m_1 \oplus m_2 (\Theta) + m_1 \oplus m_2 (\{incerteza_estatistica \}) = 0.24 + 0.76 = 1.$

Quanto aos intervalos de confiança (IC) tem-se que:

$$IC (S) = [Bel (S), Pls (S)]$$

Onde:

- Bel (S) representa o grau com que a evidência suporta a hipótese S, isto é, fornece um limite inferior de confiança.
- Bel (S') representa o grau com que a hipótese S é refutada (desconfiada)
- Pls (S) = 1 – Bel (S') representa a confiança total não atribuída a S', de forma que fornece um limite superior de confiança à S.
- Pls (S) – Bel (S) expressa o grau de incerteza (ou ignorância) com relação à S.

No caso de nível de incerteza, se $S = \{incerteza_estatistica\}$, $S' = \{cenário_incerto, incerteza_reconhecida\}$, e então $Bel (\{cenário_incerto\} \{incerteza_reconhecida\}) = Bel_1 \oplus Bel_2 (\{cenário_incerto\} \{incerteza_reconhecida \}) = 0$, pois, ele não são elementos focal, isto é, não lhe foi atribuída nenhuma massa.

Portanto, $Pls (\{incerteza_estatistica\}) = 1 - 0 = 1$, e portanto, $IC (\{incerteza_estatistica\}) = [0.76, 1.0]$.

Novas Evidências: Foi observado que o sensor de FC está “Normal” e o sensor de temperatura está “Normal”. O que indica uma evidência conflitante de 0.96 de que a incerteza não é do tipo estatística. Ou seja: $m_3(\{cenário_incerto\}) = 0.96$ e $m_3(\{\Theta\}) = 0.04$.

	$m_1 \oplus m_2 (\{ incerteza_estatistica \}) = 0.76$	$m_1 \oplus m_2 (\{\Theta\}) = 0.24$
$M_3(\{cenário_incerto\}) = 0.96$	$\{ \emptyset \} = 0.73$	$\{cenário_incerto\} = 0.23$
$M_3 (\{\Theta\}) = 0.04$	$\{incerteza_estatistica\} = 0.03$	$\Theta = 0.01$

O conjunto vazio \emptyset ocorre porque {incerteza_estatistica} e {cenário_incerto} não tem nenhum elemento em comum.

O fator K é igual à soma das massas dos conjuntos vazios que resultaram da intersecção, ou seja, $K = 0.73$.

Portanto, $1 - K = 1 - 0.73 = 0.27$

Aplicando a função de combinação em cada um dos conjuntos resultantes da intersecção, tem-se:

- $m_1 \oplus m_2 \oplus m_3 (\{\text{cenário_incerto}\}) = 0.23 / 0.27 = 0.852$
- $m_1 \oplus m_2 \oplus m_3 (\{\text{incerteza_estatistica}\}) = 0.03 / 0.27 = 0.111$
- $m_1 \oplus m_2 \oplus m_3 (\emptyset) = 0,001 / 0.27 = 0.004$

A confiança total no subconjunto {incerteza_estatistica} é agora,

$Bel (\{\text{incerteza_estatistica}\}) = m_1 \oplus m_2 \oplus m_3 (\{\text{incerteza_estatistica}\}) = 0.111$, e $Bel (\{\text{cenário_incerto}\}) = Bel (\{\text{cenário_incerto}\}) = m_1 \oplus m_2 \oplus m_3 (\{\text{cenário_incerto}\}) = 0.852$.

$Pls (\{\text{incerteza_estatistica}\}) = 1 - Bel (\{\text{cenário_incerto}\}) = 1 - 0.852 = 0.148$.

Portanto, $IC (\{\text{incerteza_estatistica}\}) = [0.111; 0.148]$.

O suporte à hipótese (Bel) e o potencial de confiança (Pls) para {incerteza_estatistica} foram reduzidos pela evidência de {cenário_incerto}.

Tomando-se como exemplo os seguintes intervalos de confiança, tem-se:

- Se $[Bel(x), Pls(x)] = [0; 1]$, nenhuma informação a respeito da hipótese x é disponível.
- Se $[Bel(x), Pls(x)] = [0; 0]$, a hipótese x foi totalmente negada.
- Se $[Bel(x), Pls(x)] = [1; 1]$, a hipótese x foi totalmente confirmada.
- Se $[Bel(x), Pls(x)] = [0; 0.8]$, existe alguma evidência contra a hipótese x.
- Se $[Bel(x), Pls(x)] = [0.3; 1]$, existe alguma evidência a favor da hipótese x.
- Se $[Bel(x), Pls(x)] = [0.15; 0.75]$, existe alguma evidência a favor, assim como, contra a hipótese x.

Assim, com a presença de novas evidências pode-se partir de um IC ({incerteza_estatistica}) [0.76 e 1.0] para $IC (\{\text{incerteza_estatistica}\}) = [0.111; 0.148]$, o que indica que existe alguma evidência contra a hipótese.

Conclusões

Embora os dados utilizados no experimento não sejam reais foi possível alcançar algumas informações quanto ao tratamento de informações incertas em Sistemas de Monitoramento Remoto da Saúde Humana, conforme listados a seguir:

- a) Os valores padrões utilizados pela medicina precisam ser considerados na avaliação de qualquer dado obtido pelos sensores;
- b) Os valores padrões assumidos pelos sensores (conforme as características de cada um) precisam ser considerados no estudo da aplicação destes em função do processo de fusão de dados a que estes são submetidos.

Desta forma tem-se que a Lógica Fuzzy pode ser aplicada na modelagem do conhecimento especialista envolvido, entretanto não permite que os valores padrões (A e B) sejam identificados com precisão.

Na aplicação de redes bayesianas foi possível analisar os dados com maiores detalhes, entretanto a adição de novas hipóteses e/ou evidências requer a reorganização desta o que pode aumentar o grau de re-trabalho.

Já a aplicação da teoria de Dempster Shafer possibilitou analisar o comportamento de uma hipótese dado um grau de confiança nesta, incluindo o acréscimo de novas evidências no cenário, caracterizando-se assim como o método mais adequado para o prosseguimento da pesquisa.

Assim, é importante que mais estudos sejam realizados, incluindo dados reais, na busca por atender os dois critérios de observação de padrões da medicina e da tecnologia de sensores utilizados no monitoramento remoto da saúde humana.

APENDICE B – TRECHOS DO CÓDIGO DA BASE DE REGRAS PARA EMPREGADAS NOS EXPERIMENTOS.

```
for($i=0;$i<count($array);$i++){
    //regra GLICOSE_NORMAL
    if($array[$i][0]=="Glucose" && $array[$i][1]<=100){
        $regras["hipotese"]="GLICOSE_NORMAL";
        $regras["fc"]=0.7;
        return $regras;
    }
    //regra TOLERANCIA_GLICOSE
    if($array[$i][0]=="Glucose" && ($array[$i][1]>100 &&
    $array[$i][1]<126 )){
        $regras["hipotese"]="TOLERANCIA_GLICOSE";
        $regras["fc"]=0.7;
        return $regras;
    }
    if($array[$i][0]=="Glucose" && $array[$i][1]>=126){
        $regras["hipotese"]="DIABETEMELLITUS";
        $regras["fc"]=0.7;
        return $regras;
    }

    //regra HIPOTENSAO
    if($array[$i][0]=="NISysABP" && $array[$i][1]<=100)
        $HIPOTENSAO++;
    if($array[$i][0]=="NIDiasABP" && $array[$i][1]<=60)
        $HIPOTENSAO++;

    //regra PRESSAO_OTIMA
    if($array[$i][0]=="NISysABP" && ($array[$i][1]>100 &&
    $array[$i][1]<=120 ))
        $PRESSAO_OTIMA++;
    if($array[$i][0]=="NIDiasABP" && ($array[$i][1]>60 &&
    $array[$i][1]<=80 ))
        $PRESSAO_OTIMA++;

    //regra PRESSAO_NORMAL
    if($array[$i][0]=="NISysABP" && $array[$i][1]<=130)
        $PRESSAO_NORMAL++;
    if($array[$i][0]=="NIDiasABP" && $array[$i][1]<=85)
        $PRESSAO_NORMAL++;

    //regra PRESSAO_LIMITROFE
    if($array[$i][0]=="NISysABP" && ($array[$i][1]>130 &&
    $array[$i][1]<139 ))
        $PRESSAO_LIMITROFE++;
    if($array[$i][0]=="NIDiasABP" && ($array[$i][1]>85 &&
    $array[$i][1]<=89))
        $PRESSAO_LIMITROFE++;
```