



# Fuzzy Angel: Uma Arquitetura Distribuída de Telemedicina Para Monitoramento de Pacientes com Esclerose Lateral Amiotrófica

**Antônio Higor Freire de Moraes**

Orientador: Prof. Dr. Gláucio Bezerra Brandão

Co-Orientador: Prof. Dr. Ricardo Alexsandro de Medeiros Valentim

**Tese de Doutorado** apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Computação da UFRN (área de concentração: Engenharia de Computação) como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Número de Ordem do PPgEEC: D155  
Natal, RN, Novembro de 2015.

Seção de Informação e Referência  
Catalogação da Publicação na Fonte. UFRN / Biblioteca Central Zila Mamede

Morais, Antonio Higor Freire de.

Fuzzy angel: uma arquitetura distribuída de telemedicina para monitoramento de pacientes com esclerose lateral amiotrófica / Antonio Higor Freire de Moraes. - Natal, 2015.

81 f : il.

Orientador: Gláucio Bezerra Brandão.

Coorientador: Ricardo Alessandro de Medeiros Valentim.

Tese (Doutorado) Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação.

1. Telemedicina - Tese. 2. Arquitetura distribuída - Tese. 3. Esclerose Lateral Amiotrófica - Tese. 4. Lógica Fuzzy - Tese. 5. Visão Computacional - Tese. I. Brandão, Gláucio Bezerra. II. Valentim, Ricardo Alessandro de Medeiros. III. Título.

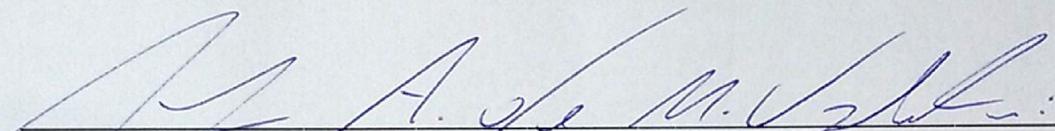
RN/UF/

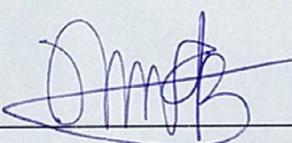
CDU 681.5

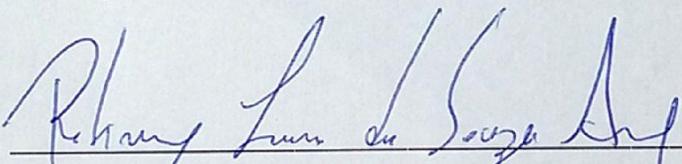
## Antônio Higor Freire de Moraes

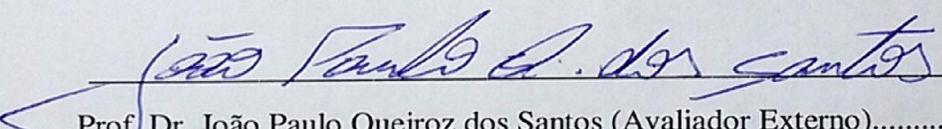
Projeto de Tese de Doutorado aprovada em \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2015 pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Gláucio Bezerra Brandão (Orientador).....DEB/UFRN

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Ricardo Alexandre de Medeiros Valentim (Co-Orientador).....DEB/UFRN

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Aquiles Medeiros Filgueira Burlamaqui (Avaliador Interno).....DEB/UFRN

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Robinson Luis de Souza Alves (Avaliador Externo).....DATINF/IFRN

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. João Paulo Queiroz dos Santos (Avaliador Externo).....DATINF/IFRN

*“A glória de Deus é ocultar as coisas,  
a glória dos reis é pesquisá-las.” (Pr 25, 2)*

*Dedico este trabalho à minha mãe, minha bisavó e minha noiva  
Mulheres guerreiras que sempre me incentivaram  
E a quem agradeço pelo que sou.*

---

# Agradecimentos

---



À minha mãe, Francisca, e à minha bisavó, “Mãe Ana”, meu muito obrigado por tudo que fizeram em minha vida. Obrigado pela formação do meu caráter e pelo amor incondicional.

Agradeço a minha querida noiva, Josi, dona de um mundo mágico próprio e para o qual sua mente é frequentemente teletransportada (as vezes a contra-gosto da própria), mas que de um jeito especial sempre me deixou mais calmo nos momentos de aflição mostrando para mim que o caminho estava correto.

Ao meu amigo e orientador, Gláucio, agradeço pela ajuda e oportunidade no desenvolvimento desta Tese. Obrigado por confiar em mim.

Meu caro amigo e co-orientador, Ricardo, muito obrigado por ter compartilhado comigo, mais uma vez, suas ideias e visão diferenciada do mundo.

Muito obrigado aos meus dois “*slaves*” Pablo e Marcel sem os quais esse trabalho não teria alcançado os resultados aqui demonstrados. Vocês foram fundamentais meus amigos. Obrigado também aos amigos Rodrigo e Sedir pela ajuda com os componentes mobile da arquitetura. Valeu mesmo pessoal!

Obrigado aos meus caros colegas e os servidores do LAIS/UFRN que estão sempre com uma ideia nova e dispostos a nos ajudar no desenvolvimento de nossas pesquisas.

Obrigado à equipe de pesquisa do professor Mário Emílio e aos colegas do HUOL/UFRN, que permitiram que o desenvolvimento desse trabalho fosse possível através do compartilhamento do conhecimento de vocês.

Um agradecimento especial às famílias e aos pacientes que, mesmo se encontrando em uma situação difícil e de fragilidade tiveram a sensibilidade e um espírito nobre e solidário, permitindo a realização da pesquisa.

---

# Produção e Publicações

---



## **Artigos em periódicos:**

MORAIS, A. H. F.; Valentim, R. A. M.; BRANDÃO, G. B. ESCLEROSE LATERAL AMIOTRÓFICA: UMA REVISÃO DO ESTADO DA ARTE PARA SISTEMAS DE MONITORAMENTO EM HOMECARE. Revista Brasileira de Inovação Tecnológica em Saúde, v. 1, p. 9-18, 2012.

MORAIS, A. H. F.; Valentim, R. A. M.; CAVALCANTI, L. R. C.; SOUTO, G. H.; DANTAS, R. R.; DOURADO JUNIOR, M. E. T. Um Anjo para ELA: Arquitetura Baseada em Visão Computacional Aplicada ao Monitoramento On-Line de Parâmetros Respiratórios de Pacientes com Esclerose Lateral Amiotrófica (ELA) em Ambiente Hospitalar. Revista Brasileira de Engenharia Biomédica (Impresso), v. 29, p. 206-210, 2013.

## **Capítulo de Livro:**

MORAIS, A. H. F.; CARDOSO, P. H.; DANTAS, M. C. R.; DOURADO JUNIOR, M. E.; VALENTIM, R. A. M.; GUERRA NETO, C. L. B. Esclerose Lateral Amiotrófica: aspectos da ventilação não invasiva e uma proposta de monitoramento homecare. In: Ricardo Alexsandro de Medeiros Valentim; Bruno Gomes de Araújo; Tâmara Albuquerque Leite Guedes; Alexandre Medeiros de Figueiredo. (Org.). A Telessaúde no Brasil e a Inovação Tecnológica na Atenção Primária. 1ed.Natal, RN: EDUFRN, 2015, v. 1, p. 309-344.

## **Premiação:**

MORAIS, A. H. F.; CARDOSO, P. H.; DANTAS, M. C. R.; DOURADO JUNIOR, M. E.; VALENTIM, R. A. M.; GUERRA NETO, C. L. B. Esclerose Lateral Amiotrófica: aspectos da ventilação não invasiva e uma proposta de monitoramento homecare. In: Ricardo Alexsandro de Medeiros Valentim; Bruno Gomes de Araújo; Tâmara Albuquerque Leite Guedes; Alexandre Medeiros de Figueiredo. (Org.). A Telessaúde no Brasil e a Inovação Tecnológica na Atenção Primária. 1ed.Natal, RN: EDUFRN, 2015, v. 1, p. 309-344.

---

# Resumo

---



A Esclerose Lateral Amiotrófica (ELA) é uma doença neurodegenerativa caracterizada pela fraqueza muscular progressiva que leva o paciente à morte, geralmente devido a complicações respiratórias. Assim, ao passo que a doença progride o paciente precisará de ventilação não-invasiva (VNI) e monitoramento constante. Esta tese apresenta uma arquitetura distribuída para monitoramento domiciliar de ventilação noturna não-invasiva (VNNI) em pacientes com ELA com foco no envio de mensagens de alertas para cuidadores e monitoramento de dados remotos para a equipe de saúde. Como forma de validação dessa arquitetura foram utilizados dispositivos microprocessados, microcontroladores e *smartphones* para auxílio ao monitoramento dos cuidadores e um servidor web para monitoramento remoto pela equipe de saúde. A arquitetura utilizou um software baseado em lógica *fuzzy* e visão computacional para capturar os dados da tela do ventilador mecânico, via *Optical Character Recognition* (OCR), e gerar mensagens de alerta com instruções para os cuidadores. O monitoramento foi realizado com 29 pacientes por 7 horas contínuas diariamente durante 5 dias com uma taxa de amostragem de uma amostra por segundo. A arquitetura do sistema foi avaliada com relação a taxa de acerto para reconhecimento de caracteres e respectiva correção através de um algoritmo para detecção e correção de erros. Além disso, a equipe de saúde avaliou o sistema com relação aos intervalos de tempo que as mensagens de alertas foram geradas e se estas estavam corretas. Dessa forma, o sistema apresentou uma média geral de acertos de 98,72%, e no pior caso 98,39%. Quanto às mensagens a serem geradas, o sistema também concordou em 100% com a avaliação geral, tendo havido discordância em apenas dois casos com apenas um dos avaliadores.

**Palavras chaves:** Monitoramento *Homecare*, Lógica *Fuzzy*, Visão Computacional, Sistemas Supervisório *Web*, Esclerose Lateral Amiotrófica.

---

# Abstract



---

The Amyotrophic Lateral Sclerosis (ALS) is a neurodegenerative disease characterized by progressive muscle weakness that leads the patient to death, usually due to respiratory complications. Thus, as the disease progresses the patient will require noninvasive ventilation (NIV) and constant monitoring. This paper presents a distributed architecture for homecare monitoring of nocturnal NIV in patients with ALS. The implementation of this architecture used single board computers and mobile devices placed in patient's homes, to display alert messages for caregivers and a web server for remote monitoring by the healthcare staff. The architecture used a software based on fuzzy logic and computer vision to capture data from a mechanical ventilator screen and generate alert messages with instructions for caregivers. The monitoring was performed on 29 patients for 7 continuous hours daily during 5 days generating a total of 126000 samples for each variable monitored at a sampling rate of one sample per second. The system was evaluated regarding the rate of hits for character recognition and its correction through an algorithm for the detection and correction of errors. Furthermore, a healthcare team evaluated regarding the time intervals at which the alert messages were generated and the correctness of such messages. Thus, the system showed an average hit rate of 98.72%, and in the worst case 98.39%. As for the message to be generated, the system also agreed 100% to the overall assessment, and there was disagreement in only 2 cases with one of the physician evaluators.

**Key words:** Homecare Monitoring, Fuzzy Logic, Computer Vision, Web Systems, Amyotrophic Lateral Sclerosis.

---

# Sumário

---



RESUMO .....	7
<b>SESSÃO 1 .....</b>	<b>8</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>8</b>
1.1. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA.....	9
1.2. OBJETIVO .....	10
1.2.1. <i>Objetivos Específicos</i> .....	11
1.3. ORGANIZAÇÃO DO TEXTO .....	12
<b>SESSÃO 2 .....</b>	<b>13</b>
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>13</b>
2.1. LÓGICA FUZZY .....	13
2.1.1. <i>Conjuntos Fuzzy</i> .....	14
2.1.2. <i>Funções de Pertinência</i> .....	15
2.1.3. <i>Regras e Inferências Fuzzy</i> .....	15
2.2. VISÃO COMPUTACIONAL.....	17
2.2.1. <i>Operações Básicas de Processamento de Imagem</i> .....	18
2.2.2. <i>Histogramas</i> .....	19
2.2.3. <i>Equalização de Histogramas</i> .....	19
2.2.4. <i>Limiarização</i> .....	21
2.2.5. <i>Segmentação</i> .....	21
2.3. VENTILAÇÃO NÃO INVASIVA NA ELA .....	22
2.3.1. <i>Administração da Ventilação Não Invasiva</i> .....	23
2.4. ESTADO DA ARTE E TRABALHOS CORRELATOS.....	24
2.4.1. <i>Sistemas de Monitoramento Homecare</i> .....	25
2.4.2. <i>Sistemas de Monitoramento Homecare para ELA</i> .....	29
2.5. CONSIDERAÇÕES .....	30
<b>SESSÃO 3 .....</b>	<b>31</b>
<b>3. MATERIAIS E METODOLOGIA .....</b>	<b>31</b>
3.1. ARQUITETURA DO SISTEMA DE MONITORAMENTO.....	31
3.2. PROCESSO DE ARMAZENAMENTO DISTRIBUÍDO .....	36
3.3. ARQUITETURA DE COMUNICAÇÃO .....	37
3.4. ARQUITETURA DE PROCESSAMENTO .....	39
3.4.1. <i>Algoritmo de Visão Computacional</i> .....	39
3.4.2. <i>Algoritmo de Detecção e Correção de Erro</i> .....	42
3.4.3. <i>Algoritmo Fuzzy</i> .....	44
3.4.4. <i>Controlador Fuzzy</i> .....	46
3.4.5. <i>Funções de Pertinência Fuzzy</i> .....	47
3.4.6. <i>Geração das Mensagens de Alerta</i> .....	48
3.5. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DO SISTEMA .....	49

3.6.	METODOLOGIA DE ANÁLISE PARA GERAÇÃO DE ALERTAS .....	50
3.7.	CONSIDERAÇÕES .....	52
<b>SESSÃO 4</b>	<b>.....</b>	<b>53</b>
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>53</b>
4.1.	RESULTADOS.....	53
4.1.1.	<i>Visão Computacional e Detecção de Erros.....</i>	53
4.1.2.	<i>Geração de Alertas e Algoritmo Fuzzy.....</i>	56
4.2.	DISCUSSÃO.....	56
4.2.1.	<i>Visão Computacional e Detecção de Erros.....</i>	57
4.2.2.	<i>Geração de Alertas e Algoritmo Fuzzy.....</i>	59
4.3.	CONSIDERAÇÕES .....	60
<b>SESSÃO 5</b>	<b>.....</b>	<b>61</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>61</b>
5.1.	CONSIDERAÇÕES FINAIS: ARQUITETURA.....	61
5.2.	CONSIDERAÇÕES FINAIS: EQUIPE DE SAÚDE.....	61
5.3.	CONSIDERAÇÕES FINAIS: PACIENTE .....	62
5.4.	CONSIDERAÇÕES FINAIS: GESTORES E DESLOCAMENTOS .....	63
5.5.	TRABALHOS FUTUROS.....	63
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>.....</b>	<b>65</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>.....</b>	<b>65</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>.....</b>	<b>71</b>
<b>ANEXO 1</b>	<b>.....</b>	<b>71</b>
QUESTIONÁRIO 1	.....	71
QUESTIONÁRIO 2	.....	72

---

# Lista de Figuras



---

Figura 3-1: Arquitetura de Monitoramento Um Anjo para ELA .....	32
Figura 3-2: Supervisório Web.....	35
Figura 3-3: Tela de conexão do Módulo Cuidador .....	36
Figura 3-4: Comunicação entre os Módulos da Arquitetura .....	38
Figura 3-5: Tela do Ventilador Mecânico com as Informações a serem extraídas.....	40
Figura 3-6: Suporte em acrílico para abrigar o ventilador mecânico e o Módulo <i>Homecare</i> .....	42
Figura 3-8: Função de Pertinência para Fuga de Ar .....	48
Figura 3-9: Função de Pertinência para SpO <sub>2</sub> .....	48
Figura 3-10: Modelo de captura dos sinais reais e emulados .....	52
Figura 4-1: Comparação entre valores do sinal processado e não processado para Fuga de Ar .....	54
Figura 4-2: Comparação entre valores do sinal processado e não processado para Fuga de Ar com visão ampliada .....	54
Figura 4-3: Comparação entre valores do sinal processado e não processado para Frequência Respiratória .....	55
Figura 4-4: Comparação entre valores do sinal processado e não processado para Volume Corrente .....	55

---

# Lista de Equações



---

Função 2.1.....	15
Função 2.2.....	19
FUNÇÃO 3.1.....	43

---

# Lista de Quadros

---



Quadro 1: Algoritmo de visão computacional e reconhecimento OCR .....	41
Quadro 2: Algoritmo de Detecção e Correção de Erro.....	44
Quadro 3: Algoritmo Fuzzy para envio de alertas .....	45

---

# Lista de Acrônimos

---



ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
API	Application Programming Interface
CV	Capacidade Vital
DP	Doença de Parkinson
DSL	Digital Subscriber Line
EHA	Elderly in-Home Assistance
ELA	Esclerose Lateral Amiotrófica
EOG	Electrooculograph
GB	Giga Byte
GHz	Giga Hertz
GPRS	General Packet Radio Service
HD	High Definition
HUOL	Hospital Universitário Onofre Lopes
IEEE	Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos
IP	Internet Protocol
IoT	Internet of Thing
LAIS	Laboratório de Inovação Tecnológica em Saúde
MS	Ministério da Saúde
msg	Mensagem
OSGi	Open Services Gateway initiative
PaCO <sub>2</sub>	Pressão Parcial de Dióxido de Carbono
PEEP	Positive-end Expiratory Pressure
PPEHL	Plataforma de Prototipagem Eletrônica de Hardware Livre
RAM	Random Access Memory
RGB	Red, Green, Blue
SBC	Single Board Computer

SGBD	Sistema Gerenciador de Banco de Dados
SIM	Subscriber Identity Module
SpO2	Saturação Parcial de Oxigênio
SSL	Secure Socket Layer
SUS	Sistema Único de Saúde
OCR	Optical Character Recognition
OpenCV	Open source computer vision
QV	Qualidade de Vida
TCP	Transport Control Protocol
TSL	Transport Layer Security
UCD	Unidade Central Doméstica
USB	Universal Serial Bus
UTC	Unidade de TeleCare
VPN	Virtual Private Network

---

# Sessão 1



---

## 1. Introdução

---

A Qualidade de Vida (QV) é uma medida que está diretamente ligada ao senso comum e de complexa quantificação. Esta complexidade de mensuração deve-se essencialmente a fatores subjetivos associados a cada indivíduo. Neste sentido, não existe na literatura um consenso a cerca do tema, mas acredita-se que alguns elementos tais como: experiência de vida, quais sejam, valores humanos e culturais; a multidimensionalidade do ser, que está diretamente relacionada ao ambiente em que este vive são preponderantes para determinação desta qualidade de vida (Orsini *et al.*, 2012; Gonzalez-Bermejo *et al.*, 2013). Neste sentido, pessoas que estejam passando por problemas em seu estado de saúde tendem a ter degradada a própria qualidade de vida. Nesse caso, segundo Coco *et al.* (2005), embora não haja correlação entre a qualidade de vida da equipe de saúde e os pacientes, ambos apresentaram baixos índices em relação a este quesito. Sendo assim, a atenção que deve ser dispensada aos pacientes em situações de risco acaba por exigir ainda mais zelo da equipe de saúde envolvida. Desta forma, a utilização de sistemas que permitam melhorar a eficiência nos tratamentos aos pacientes, por meio de sistemas de monitoramento vem se tornando uma prática nos hospitais (Araújo *et al.*, 2012). Desta forma, a utilização desse tipo de sistema torna-se mais necessária quando o paciente sofre de alguma doença neural que afeta a sua capacidade de comunicação ou motora. Nesses casos, a atenção que deve ser dispensada a estes pacientes deve ser muito maior, posto que ele por si só não tem capacidade de informar ao cuidador, ou algum profissional de saúde, sobre algum desconforto pelo qual esteja passando, tão pouco movimentar-se ou deslocar-se em busca de alguma ajuda.

## 1.1. Caracterização do Problema

A Esclerose Lateral Amiotrófica (ELA) é uma doença neurodegenerativa, caracterizada por fraqueza muscular progressiva que leva o paciente ao óbito, usualmente devido a complicações respiratórias (Lechtzin *et al.*, 2007). Por se tratar de uma doença de causa desconhecida, muitas pesquisas ainda estão sendo realizadas a fim de entender o que provoca o surgimento da mesma (Abrela, 2010). Esta patologia apresenta como sintomas a degeneração dos neurônios motores inferiores e superiores, atingindo a medula espinhal, o tronco encefálico e o córtex motor resultam na definição da ELA como doença do neurônio motor (Kasper *et al.*, 2006). No momento em que os músculos ventilatórios são comprometidos os indivíduos apresentam restrições pulmonares, caracterizadas pela redução da Capacidade Vital (CV) e do Volume Corrente (VC), tendo como consequência a insuficiência respiratória crônica (Kelly *et al.*, 1991). A Ventilação Não-Invasiva (VNI) consta na administração de ventilação mecânica aos pulmões sem que haja a necessidade de vias aéreas artificiais, podendo ser oferecida ao paciente por meio de ventiladores mecânicos ou através de aparelhos denominados Pressão Positiva Bifásica nas Vias Aéreas (BiPAP) (Presto, 2009).

A incidência dessa doença na população varia segundo uma taxa de 0,6 a 2,6 para cada 100.000 habitantes (Chancellor, 1992; Cronin, 2007). Como a identificação e diagnóstico da doença acontece de forma tardia, acredita-se que por ocasião dos primeiros sintomas cerca de 80% dos neurônios motores já foram comprometidos (Mitsumoto & Rabkin, 2007). Nesse sentido, a sobrevida média é de 27,5 meses após o início dos sintomas podendo chegar de 3 a 5 anos, e 10 anos para 10% (Riviere *et al.*, 1998) dos casos de pacientes que não recebem tratamento com ventilação mecânica, sendo prolongada até 15 anos ou mais para os casos que utilizam suporte ventilatório (Hayashi & Oppenheimer, 2003). O diagnóstico da doença acontece por etapas e de forma excludente, pois os sintomas iniciais se assemelham aos de outras doenças (Rowland, 1998). Por essa razão, existem 5 subtipos que definem e caracterizam a doença e os seus estágios, segundo o "El Escorial" da Federação Mundial do Grupo de Pesquisa em Neurologia de Doenças Motoras, os quais são diagnosticados por meio da presença de sinais de

comprometimento dos neurônios motores superiores e inferiores em diferentes regiões (Brooks *et al.*, 2000). Para cada um desses subtipos deve haver a evidente progressão da doença e ausência de sinais sensitivos. Os subtipos dessa doença são:

- ELA definitiva;
- ELA provável;
- ELA provável com suporte laboratorial;
- ELA possível; e
- ELA suspeita.

Outro ponto importante a ser observado diz respeito aos equipamentos que são utilizados na ventilação não-invasiva e sua calibração. Quando estes pacientes estão internados em ambiente hospitalar, a perda de calibração (devido a complicações da doença que requerem intervenções no ajuste do ventilador mecânico, por exemplo, para aumentar o volume de ar injetado no pulmão do paciente) pode ser facilmente corrigida por um profissional da área de saúde responsável pelo paciente. No entanto, quando se trata de pacientes em *homecare*, nem sempre é possível ter um profissional especializado que garanta que o equipamento de ventilação mecânica esteja sempre em sintonia com as necessidades do paciente com ELA. Neste caso a calibração é realizada por um familiar ou cuidador (Metha & Hill, 2001) sob a orientação de um técnico. Entretanto, é preferível que os pacientes sejam tratados em casa quando possível, pois melhora a qualidade de vida do paciente, permite uma maior integração com a família e comunidade, além de reduzir os custos do tratamento (King, 2012).

## **1.2. Objetivo**

A presente Tese teve como objetivo desenvolver uma arquitetura distribuída para monitoramento *homecare* de pacientes com esclerose lateral amiotrófica durante o processo de ventilação não-invasiva (VNI) noturna, ao qual tais pacientes são submetidos. Dessa forma, a arquitetura visa auxiliar aos cuidadores desses pacientes através do envio de mensagens de alerta, bem como, possibilitando o acompanhamento remoto do processo ventilatório por parte da equipe de saúde.

Para tanto, a arquitetura desenvolvida nesta Tese utilizou técnicas de visão computacional, lógica *fuzzy*, sistemas embarcados, dispositivos móveis e sistemas de monitoramento *web*.

### 1.2.1. *Objetivos Específicos*

O alcance do objetivo principal de um trabalho científico pressupõe a determinação de metas e tarefas que devem ser cumpridas. Neste sentido, foram traçados alguns objetivos específicos que foram utilizados para descrever as metas e tarefas para se atingir o objetivo final dessa Tese, os quais são descritos a seguir:

- Desenvolvimento de um algoritmo baseado em lógica *fuzzy* para análise do quadro de saúde do paciente em tempo real e permitir a geração de alertas para os cuidadores e/ou familiares sobre intervenções que devem ser realizadas de forma imediata. Para tanto, foi necessário transcrever para uma linguagem de computador as regras utilizadas pela equipe de saúde para que essa análise pudesse ser concretizada;
- Desenvolvimento de um algoritmo de visão computacional para extração de dados respiratórios da tela do ventilador mecânico. O desenvolvimento desse sistema foi fundamental para a determinação do estado do paciente, pois sem ele não haveria como extrair essa informação em tempo real, haja vista que, os aparelhos que foram utilizados para esse fim não dispunham de interfaces de comunicação que permitissem a extração direta desses parâmetros;
- Elaboração de um mecanismo de validação do algoritmo por meio de ensaios e acompanhamento de pacientes que foram auferidos pela equipe de saúde através de questionários e análise dos gráficos das variáveis monitoradas ao longo do tempo. Neste caso, a validação se deu através da comparação do resultado apresentado pelo sistema frente à decisão de três avaliadores da equipe de saúde;
- Desenvolvimento de uma arquitetura de hardware *homecare* para coleta e envio de sinais vitais (frequência respiratória, saturação parcial de oxigênio, fuga de ar, volume corrente e frequência cardíaca);

- Desenvolvimento de um sistema web para monitoração, cadastro e avaliação do quadro clínico evolutivo de pacientes com ELA.

### **1.3. Organização do Texto**

Este trabalho de tese está organizado da seguinte forma: na Sessão 1 destina-se a introdução do trabalho, na qual é feita uma contextualização do problema e a proposta de solução para o mesmo; na Sessão 2 é feita uma releitura do estado da arte e da fundamentação teórica utilizada para desenvolvimento da arquitetura desta tese; na Sessão 3 são apresentados todos os materiais e métodos utilizados para o desenvolvimento da arquitetura de monitoramento distribuído, bem como a metodologia para realização e avaliação dos testes da arquitetura; na Sessão 4 é feita a apresentação e discussão dos resultados obtidos pela arquitetura no que se refere à captura dos dados monitorados, mensagens, taxa de erro e correção de erros e instantes de tempo em que as mensagens são enviadas; na Sessão 5 são apresentadas as conclusões dessa tese e as sugestões de trabalhos futuros.

---

## Sessão 2



---

### 2. Fundamentação Teórica

---

Nesta Sessão são abordadas as pesquisas e tecnologias em torno do objeto de estudo desta Tese, bem como os conceitos básicos que serviram de fundamento para elaboração da mesma.

#### 2.1. Lógica *Fuzzy*

A Lógica Clássica tradicional versa sobre uma teoria de conjuntos onde podem ser atribuídos valores verdadeiros ou falsos para uma determinada sentença. Entretanto, existem situações do cotidiano das pessoas que não podem ser expressos apenas em termos de verdadeiro ou falso. Por exemplo, se um reservatório está com água pela metade, por meio da Lógica Clássica, não se pode afirmar que o mesmo encontra-se “parcialmente” cheio ou “parcialmente” vazio. Um raciocínio semelhante pode ser aplicado às medições de temperatura. Considerando que para a temperatura ambiente 40°C seja quente, podemos afirmar que a temperatura de 39,9°C não é quente? Para atender questões como essas que não são satisfatoriamente resolvidas pela Lógica Clássica surgiu a Lógica Fuzzy, ou Lógica Nebulosa.

A Lógica Fuzzy foi concebida em por Zadeh (Zadeh, 1965) para tratar problemas de conjuntos com fronteiras fracamente definidas. Neste sentido, a Lógica Fuzzy possibilita a criação de conjuntos que são utilizados para representar a natureza nebulosa de situações que possuem certo grau de incerteza. Assim, o estado de uma variável não é determinado por um único valor, mas pela agregação de dois ou mais, ou mesmo quando se faz necessário trabalhar com valores aproximados. Nas subseções seguintes serão apresentados alguns conceitos inerentes à Lógica Fuzzy. Todavia, esta tese não tem o objetivo de explorar de forma minuciosa todos os conceitos relacionados ao assunto. Para maiores

esclarecimentos sobre o tema, consultas podem ser feitas em (Rosenfeld, 1971; Zadeh, 1965; Zadeh, 1972; Zimmermann, 2001; Ragin, 2000).

### 2.1.1. Conjuntos Fuzzy

A Lógica Clássica é baseada em conjuntos fechados onde um elemento pertencente a apenas um único conjunto. Isto é muito importante, pois elimina qualquer possibilidade de ambiguidade. Diferentemente desta lógica, a Lógica Fuzzy estabelece o conceito de grau de pertinência para os elementos de seus conjuntos, e dessa forma, um mesmo elemento pode pertencer parcialmente a um e outro conjunto. Para que esta situação seja melhor compreendida, o exemplo de medição da temperatura serve de parâmetro para demonstração desses conceitos. Considerando um ambiente para o qual são definidos os valores de temperatura para as sensações “Frio”, “Normal” e “Quente”, a Lógica Clássica estabelece três conjuntos fechados para cada uma dessas sensações. Neste caso, as sensações representam estados que são mapeados em conjuntos. A Figura 2.1 ilustra como se dá a representação desses conjuntos.

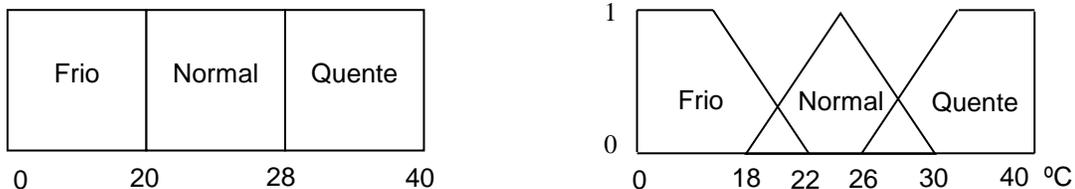


Figura 2.1: a) Representação das sensações por meio da Lógica Clássica b) Representação das sensações por meio da Lógica Fuzzy

A partir da análise dos gráficos da Figura 2.1(a) e Figura 2.1(b) podemos perceber que valores de temperaturas próximos aos limites de cada conjunto tem uma compreensão diferente para cada tipo de lógica. Na Lógica Fuzzy, valores próximos à 20 e 28 apresentam graus de pertinência para os conjuntos “Frio”, “Normal” e “Quente”. Neste sentido, o grau de pertinência desses elementos podem ser representados através da Função 2.1.

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & \text{se, e somente se, } x \text{ pertence ao conjunto} \\ 1, & \text{se, e somente se, } x \text{ não pertence ao conjunto} \\ \{y, 0 < y < 1\}, & \text{se } x \text{ pertence parcialmente ao conjunto} \end{cases} \quad (2.1)$$

Desta forma, a Lógica Fuzzy estabelece uma ferramenta matemática para tratamento de situações, como as descritas no exemplo anterior, e analisar conjuntos que possuem regiões de ambiguidade conceitual. Neste sentido, a temperatura no exemplo demonstrado é uma variável linguística a qual pode assumir três valores dentro de um conjunto: frio, normal e quente.

### 2.1.2. Funções de Pertinência

As funções de pertinência são funções matemáticas, lineares ou não-lineares, que definem os conjuntos Fuzzy. A escolha do tipo de função para representação dos conjuntos depende necessariamente da complexidade do problema e da precisão com que se deseja representá-lo. Neste caso, para problemas complexos a modelagem do conjunto será melhor representada usando-se funções não-lineares. Por outro lado, funções lineares requerem menor poder computacional para serem processadas. Portanto, a escolha das funções de pertinência depende da complexidade do problema a ser abordado e o do poder computacional do sistema.

A Figura 2.1(b) apresenta três funções de pertinência, que são representadas de forma sobreposta, para os conjuntos “Frio”, “Normal” e “Alto”. Logo, é possível perceber que um temperatura de 21°C não é quente, mas é parcialmente fria e parcialmente normal.

### 2.1.3. Regras e Inferências Fuzzy

As regras Fuzzy são definidas em duas etapas: a análise do dado de entrada e ação a ser realizada em função desse dado. Por exemplo, tomemos como análise a sentença que representa a situação de um paciente que está sendo ventilado por um ventilador mecânico.

**Se Fuga de Ar está ALTA, então verificar circuito e conexão de máscara.**

Desta sentença pode-se notar que a variável Fuzzy analisada é a “Fuga de AR”, cuja verificação é se a mesma está no conjunto “alto”. Caso esta análise resulte

em verdade, a ação a ser executada é verificar o circuito e conexões de máscara. Na prática, o processamento da lógica Fuzzy ocorre em etapas, de acordo com o que é estabelecido por Mamdani (Mamdani, 1976):

- Fuzificação;
- Avaliação das Regras;
- Agregação das Regras;
- Defuzificação.

O processo de fuzificação consiste no mapeamento dos valores das variáveis medidas em seus respectivos graus de pertinência para cada conjunto. Uma vez que a fuzificação é realizada ocorre a avaliação das regras Fuzzy de acordo com os graus de pertinência. Todavia, é importante destacar que a composição e avaliação das regras pode fazer uso de operadores lógicos “e” e “ou” que determinam qual operação será realizada sobre o antecedente para obtenção do respectivo consequente.

*SE antecedente ENTÃO consequente*

Neste caso, cada operador lógico corresponderá a uma operação sobre o conjunto. O operador lógico “ou” corresponde à operação de união, onde o maior grau de pertinência da variável será utilizado. O operador lógico “e” corresponde à operação de intersecção, assim, este operador utiliza o menor grau de pertinência da variável.

A agregação das regras é utilizada para determinar qual o conjunto Fuzzy resultante a partir da composição de todas as funções membros dos consequentes em cada regra em um único conjunto Fuzzy.

A defuzificação permite encontrar um valor numérico para interpretação da distribuição de possibilidade de saídas de um determinado modelo linguístico. Entre as regras de defuzificação mais comumente utilizadas estão:

- Média dos Máximos: Neste método, o valor de saída consiste na medida da média dos índices dos máximos locais de cada variável linguística, os quais são produzidos pelas funções de inferência, ou seja, a média de todos os maiores graus de pertinência. Uma deficiência desse método é que ele não leva em consideração toda a forma do conjunto Fuzzy

fazendo com que dois conjuntos com distribuições diferentes apresentem um mesmo resultado de saída por possuírem mesmo valor de máximo;

- Centro de Áreas ou Centróide: É o método mais comumente utilizado e considera todo o conjunto de possibilidades de uma distribuição. Desta forma, enquanto no método de Média dos Máximos é realizada uma média aritmética simples sobre o conjunto de valores de possibilidades para se obter o resultado, no método do Centro de Áreas é realizada uma média ponderada considerando os graus de pertinência e o valor da variável de entrada;
- Método das Alturas: Consiste em uma variação do Método do Centróide que faz uso um valor para o grau de ativação de uma determinada regra.

## **2.2. Visão Computacional**

Esta tese não tem o objetivo de cobrir de forma detalhada os assuntos e conceitos relacionados à visão computacional, todavia, serão apresentados os principais conceitos que se relacionam com a aplicação desenvolvida nesse trabalho. Entretanto, maiores detalhamentos sobre visão computacional podem ser encontrados em Braedski & Kaehler (Braedski & Kaehler, 2008), Jähne (Jähne, 2005) e Marques Filho & Vieira Neto (Marques Filho & Vieira Neto, 1999).

A fronteira entre o processamento de imagens e a visão computacional é muito próxima, pois ambas as áreas de estudo possuem como entrada uma imagem. Porém, no processamento de imagens, o resultado do sistema é uma componente numérica que pode ou não compor outra imagem. No caso da visão computacional o resultado do sistema é uma interpretação da imagem analisada em sua totalidade ou parcialmente (Marengoni & Stringhini, 2009). Desta forma, muitos dos sistemas de visão computacional utilizam o processamento de imagens como etapa inicial para posteriormente alcançar o objetivo desejado da interpretação da imagem.

O processamento de imagens envolve uma série de conceitos e ferramentas matemáticas. Existem várias operações que podem ser realizadas sobre as imagens tais como: remoção de ruídos, aumento ou diminuição da imagem, conversão para

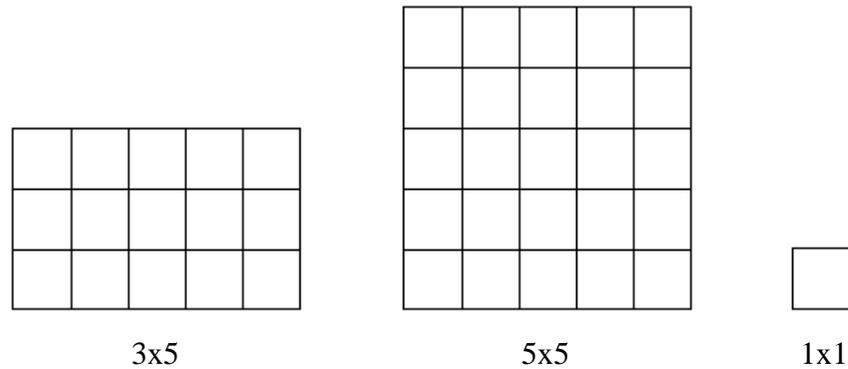
um formato específico. Nas subseções a seguir serão apresentados alguns dos conceitos e operações que são utilizados em processamento de imagens como etapa de pré-processamento para avaliação da informação de interesse desta tese.

### *2.2.1. Operações Básicas de Processamento de Imagem*

As operações sobre imagens podem ser categorizadas em dois domínios: domínio espacial ou domínio da frequência. As operações realizadas no domínio da frequência consistem em uma transformação que é realizada sobre a imagem através da Transformada de Fourier, que para os sistemas computacionais é feita através da Transformada Discreta de Fourier. Esta transformação permite que operações mais complexas, tais como as convoluções, possam ser realizadas a partir de operações de soma e multiplicações após serem transformadas. Nas operações realizadas no domínio espacial, entretanto, são observados os valores de cada pixel e suas vizinhanças. Os processamentos no domínio espacial são definidos pela Função 2.2 (Marques Filho O & Vieira Neto H, 1999):

$$g(x, y) = T(f(x, y)) \quad (2.2)$$

Onde a função  $f(x, y)$  representa a imagem original,  $T(.)$  é a transformação que é realizada sobre a imagem original e  $g(x, y)$  é a imagem resultante da transformação. A transformação da imagem acontece a partir da utilização de uma máscara que consiste em uma matriz quadrada ou retangular, cujos lados possuem um tamanho ímpar, e no centro dela é colocado o pixel de interesse para realização da transformação. Os pixels ao redor serão alterados em função do tamanho da máscara. Tamanhos comuns de máscaras são representados pela Figura 2.2.



**Figura 2.2: Tamanhos de máscara para transformação**

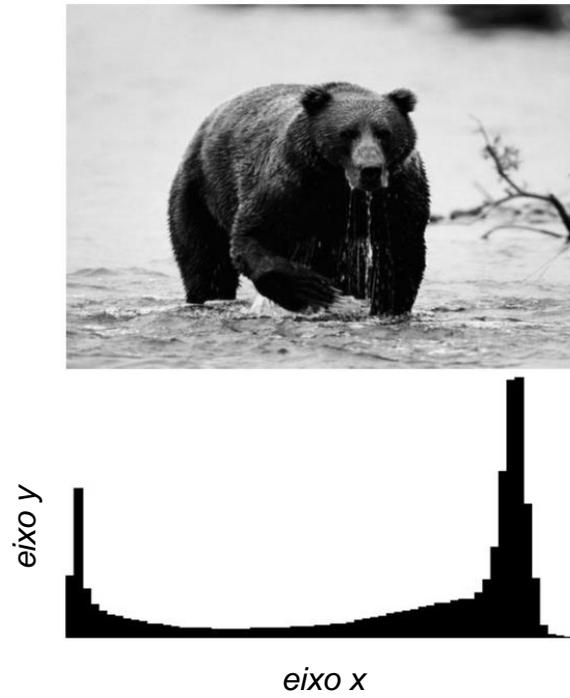
### 2.2.2. Histogramas

Os Histogramas constituem-se como uma das principais ferramentas para realização de operações em imagens no domínio espacial. Os histogramas de imagens são particularmente utilizados quando se deseja melhorar a definição de uma imagem, compressão de imagens ou segmentação de imagens. Os Histogramas representam um conjunto de números associados a um percentual de pixels de uma dada imagem que correspondem aos níveis de cinza da mesma (Marques Filho & Vieira Neto, 1999). Neste sentido, a apresentação dos histogramas é feita através de gráficos de barras que indicam o número de pixels, ou percentual desses, relacionados aos níveis de cinza da imagem. A Figura 2.3 apresenta uma imagem e o respectivo histograma, onde no eixo das abscissas (eixo x) são apresentadas as variações dos níveis de cinza, os quais variam 0 à 1, e no eixo das ordenadas (eixo y) são apresentados os percentuais de cada nível de cinza.

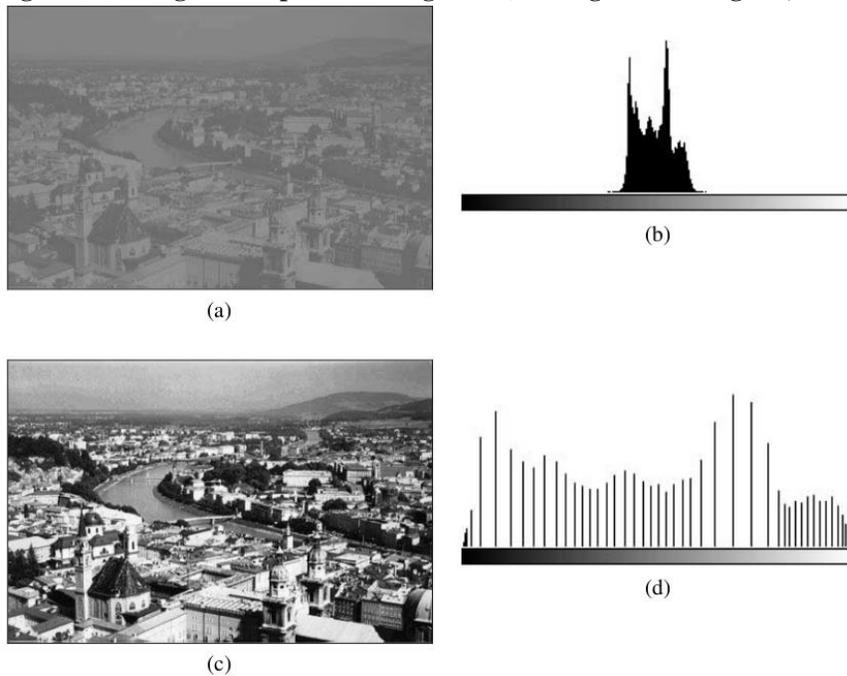
### 2.2.3. Equalização de Histogramas

A técnica de equalização de histogramas é comumente utilizada para fazer uma redistribuição dos tons de cinza dos pixels da imagem, de modo a tornar essa distribuição mais uniforme (Marques Filho O & Vieira Neto H, 1999). Desta forma, é possível melhorar a qualidade de contraste de uma imagem aplicando-se a técnica de equalização de histograma para realçar detalhes. A Figura 2.4 exemplifica como a equalização de histograma pode resultar em uma imagem com maior contraste, melhorando sua visualização. A Figura 2.4(a) apresenta a imagem original e a Figura

2.4(b) o seu respectivo histograma; da mesma forma a Figura 2.4(c) e (d), porém após a aplicação da técnica de equalização de histograma resultando na imagem processada.



**Figura 2.3: Imagem e respectivo histograma (Marengoni & Stringhini, 2009)**



**Figura 2.4: Equalização de Histograma. (a) Imagem original (b) Histograma da imagem original (c) Imagem processada (d) Histograma da imagem processada (Marques Filho O & Vieira Neto H, 1999)**

A partir da análise da Figura 2.4, é possível observar que no histograma da imagem original a distribuição encontra-se concentrada em uma determinada faixa, conforme mostra a Figura 2.4(b). Por outro lado, quando a imagem é equalizada essa distribuição ocorre de forma mais espalhada conforme Figura 2.4(d).

#### 2.2.4. Limiarização

A técnica de limiarização (*threshold*) consiste num processo de separação e destaque de imagem. Neste caso, esta técnica pode ser utilizada quando se deseja destacar um objeto de seu plano de fundo, sendo também conhecida por binarização (Jähne, 2005). Assim, o procedimento mais simples dessa técnica utiliza um valor limiar que dividirá a imagem em função dos valores de tons de cinza da mesma. Dessa forma, cada um dos conjuntos será mapeado na cor branca ou preta, dependendo se o pixel estiver acima ou abaixo do limiar. Todavia, vale ressaltar que a técnica de limiarização pode fazer uso de ferramentas estatísticas tais como, valores de média, desvio padrão e probabilidades de ocorrências de pixel, etc. para definir as regiões de corte. Dessa forma, a limiarização pode levar em conta tanto valores relacionados ao objeto de interesse como em relação ao plano de fundo da imagem para determinar funções de avaliação local ou global.

#### 2.2.5. Segmentação

O processo de segmentação de imagens também tem por objetivo extrair/destacar objetos contidos em uma imagem. Nesse caso, a resolução da imagem e o tipo de objeto a ser extraído tem influência sobre o processo. Por exemplo, destacar a imagem de uma pessoa em uma foto 3x4 requer um tipo de processamento e resolução diferente quando comparado ao mesmo processo de destacar uma pessoa em uma multidão (Marques Filho O & Vieira Neto H, 1999). Muito embora o objetivo seja o mesmo, destacar um objeto pessoa, a resolução da imagem tem grande influência nesse processo.

### 2.3. Ventilação Não Invasiva na ELA

O uso de dispositivos de VNI é indispensável para o paciente com ELA, na fase intermediária da doença, pois proporciona alívio sintomático e aumento da sobrevida (Presto *et al.*, 2009). O uso de VNI e técnicas correlatas podem prolongar a sobrevida e, caso a função bulbar o permita, evitar ou pelos menos adiar a necessidade de traqueostomia (Chiò *et al.*, 2012; Abussouan *et al.*, 1997).

No estágio inicial da ELA, uma proporção de pacientes desenvolve dificuldades respiratórias durante o sono (hipoventilação noturna) independente da fraqueza muscular, que está associada como um preditor de sobrevivência. Esses pacientes quando submetidos a ventilação não invasiva noturna precocemente, no próprio domicílio, melhoram a sobrevida (Piepers *et al.*, 2006). Na medida em que há progressão da insuficiência ventilatória pode ser utilizada a ventilação invasiva por traqueostomia.

A utilização de suporte ventilatório nos pacientes portadores de ELA deve ser adequadamente avaliada e indicada, devendo-se para tanto considerar os critérios para sua indicação estabelecidos em diretrizes de associações médicas. No Brasil, o Ministério da Saúde publicou uma portaria (Brasil, 2008) que institui, no âmbito do Sistema Único de Saúde (SUS), o Programa de Assistência Ventilatória Não Invasiva aos Portadores de Doenças Neuromusculares, incluindo a ELA. De acordo com essa portaria os critérios clínicos para o uso da VNI são:

- $\text{PaCO}_2 > 45$  mmHg;
- $\text{SpO}_2 < 88\%$  por mais de 5 minutos durante o sono e/ou dessaturação de oxigênio não explicada pela presença de apneias ou hipopneias.

Esta portaria também inclui a necessidade de monitorização, posto que nem todos os pacientes toleram e usam adequadamente o equipamento de ventilação. A aceitação da ventilação noturna não-invasiva durante a primeira noite varia de acordo com o paciente e não há garantia de adesão posterior e continuidade do tratamento. Portanto, a adesão deve ser supervisionada por uma equipe de saúde multidisciplinar. Desta forma, é definida como adesão aceitável ao tratamento com ventilação noturna não-invasiva o uso por mais de 4,5 horas por noite e por, no

mínimo, 5 noites por semana. Para a análise do uso adequado deve-se ter em conta o uso na pressão prescrita, desconsiderando-se as horas com pressão inferior à indicada, em geral, por desacoplamento ou uso incorreto da máscara nasal.

A eficácia da VNI é explicada por múltiplos efeitos fisiológicos. Entre os seus efeitos destacam-se (Paschoal *et al.*, 2007): ventilação de pressão positiva (suporte inspiratório), pressão positiva pelo-expiratória externa (*Positive-end Expiratory Pressure* - PEEP), repouso dos músculos respiratórios e diminuição da pressão negativa intratorácica pelo esforço inspiratório com melhoria da função miocárdica. Além disso, a VNI está associada com uma menor incidência de pneumonia por via aérea artificial, um reinício mais precoce da alimentação e da fala, melhoria da função glótica com aumento da eficácia da tosse, e efeitos benéficos a nível psicológico e emocional.

### 2.3.1. Administração da Ventilação Não Invasiva

O objetivo da VNI é eliminar sintomas, manter SpO<sub>2</sub> acima de 90% em mais de 90% do tempo registrado evitando oscilações. O sucesso da VNI depende da monitorização cuidadosa, que se consegue através de visitas ambulatoriais e domiciliárias regulares, além de disponibilidade de um serviço de backup de emergência em todos os momentos. Nas primeiras semanas há necessidade de ajustes de pressão e de volume os quais podem ser feitos com maior eficácia de acordo com a qualidade da monitoração.

Durante a utilização da VNI pode ocorrer bloqueio da passagem de ar por muco ou infecção, vazamento de ar não intencional e assincronia da respiração entre o paciente e o dispositivo de ventilação. Considera-se boa adaptação ao aparelho o uso de pelo menos 4 horas por dia, por 5 dias na semana (Ozsancak *et al.*, 2008). São considerados indicadores de má ventilação as seguintes situações (Rabec *et al.*, 2009):

- Fugas de ar de mais de 24l/minuto por mais de 20% de registro;
- Dessaturação prolongada. Essa questão não há consenso entre pesquisadores para definir a dessaturação prolongada, para alguns seria a

queda de mais de 90% por mais de 30% de registro; para outros seria queda de mais de 90% por mais de 5% de registro;

- Quedas acentuadas da saturação (maiores que 3% por 10% de duração do traçado).

## **2.4. Estado da Arte e Trabalhos Correlatos**

Os sistemas de monitoramento, de uma forma geral, são utilizados para realizar tarefas que são demasiadamente desgastantes para os homens e que necessitam de uma atenção constante para um determinado processo. Tais sistemas são constituídos de componentes eletrônicos com poder de processamento, além de sensores e atuadores, e, em alguns casos, elementos mecânicos ou eletromecânicos. Pelo fato de não sofrerem desgastes físicos decorrentes de cansaço ou fadiga, eles são capazes de atuar de forma ininterrupta sobre um determinado processo, muito embora estejam sujeitos a outros tipos de desgaste. Todavia, é possível utilizar técnicas de dependabilidade para assegurar maior confiabilidade ao sistema. Além disso, são capazes de realizar o monitoramento de muitas variáveis ao mesmo tempo e gerar uma resposta em um tempo mais rápido, quando comparado a observadores humanos. Na indústria, estes sistemas são chamados de Sistemas Supervisórios e estão amplamente difundidos, mas, em ambientes hospitalares, tais sistemas ainda alcançaram o mesmo nível de maturidade, pois os aspectos observados no desenvolvimento desses sistemas para a indústria são diferentes da área da saúde (Valentim *et al.*, 2012). Porém, cabe ressaltar que os aspectos observados para o desenvolvimento de sistemas industriais são diferentes dos adotados para ambientes hospitalares ou domiciliares (*homecare*). Neste sentido, as subseções seguintes fazem uma análise de trabalhos correlatos que tratam de sistemas de monitoramento domiciliar, bem como os específicos para pacientes com ELA. Estes trabalhos serão apresentados de forma separadas em duas categorias, os que abordam os sistemas de monitoramento *homecare* de uma forma mais abrangente e alguns trabalhos que oferecem soluções para pacientes com ELA.

#### 2.4.1. Sistemas de Monitoramento Homecare

Em se tratando de ambientes domiciliares, a computação ubíqua (ou onipresente) apresenta-se como uma alternativa interessante para o desenvolvimento de sistemas de monitoramento de pacientes, pois estes pacientes, apesar de não apresentarem um quadro clínico grave, necessitam de cuidados e atenção que podem acontecer de forma ininterrupta através desses sistemas. Neste sentido, Carvalho *et. al.* (2011), propõem a concepção de um sistema computacional inteligente para interligar o paciente em sua casa e os profissionais de saúde, por meio da integração de diversos serviços relacionados ao monitoramento remoto da saúde do paciente. Para tanto, os autores sugerem o desenvolvimento de um elemento central de processamento de dados fisiológicos do paciente e variáveis do ambiente domiciliar, como umidade do ar e temperatura, por meio de sensores instalados na casa do paciente que enviam dados para uma central de supervisão médica. Esse sistema é capaz de receber instruções de prescrições médicas que devem ser seguidas pelo paciente e, este por sua vez, recebe estas informações e alertas através de dispositivos de comunicação móvel (*tablet, smartphones, etc.*) ou outros aparelhos com capacidade de conexão com rede e processamento. Entretanto, este sistema não é voltado para a monitoração da ventilação não invasiva estando focado no ambiente domiciliar (condições de temperatura e umidade) e alertas/lembretes para que o paciente tome sua medicação.

O InteliMed (Menezes *et al.*, 2011) é um sistema móvel de suporte à decisão de apoio ao diagnóstico médico utilizando árvores de decisão. Tal sistema é constituído por três módulos: Aplicação Móvel; Servidor Intermediário; e Servidor Inteligente. O módulo de Aplicação Móvel é o responsável por permitir operações de campo, incluindo cadastro de pacientes, diagnósticos e visualização das visitas por funcionário. O Servidor Intermediário é a interface entre a Aplicação Móvel e o Servidor Inteligente, possuindo um banco de dados local e permitindo a sincronização de dados entre ambos. O Servidor Inteligente executa a técnica da construção e modelagem de árvore de decisão sobre uma base de dados consolidada de pacientes em uma determinada especialidade médica. Esse sistema apresenta ainda as seguintes características: arquitetura cliente-servidor baseada no

modelo de filas; processamento local do cliente o que permite uma menor dependência do servidor e um melhor balanceamento de carga; conexão assíncrona com os servidores, somente no momento de autenticação e encerramento da conexão; e transmissão de dados do tipo armazena e envia (*store-and-forward*).

Um exemplo claro de trabalho que apresenta uma visão conceitual por meio de ontologias para o desenvolvimento de sistemas pervasivos é o descrito por Freitas et. al. (Freitas *et al.*, 2012). A modelagem arquitetural apresentada sugere o desenvolvimento de sistemas baseados em um conjunto de hardware e sensores que devem ser instalados no domicílio do paciente e um sistema de armazenamento em nuvem que irá receber os dados desse. Dessa forma, a equipe de saúde envolvida no processo avalia os dados dos pacientes que estão armazenados na nuvem. Esse conjunto de ontologias tem por objetivo facilitar o desenvolvimento de sistemas voltados para *homecare*, porém aspectos relacionados à segurança, dependabilidade e privacidade dos dados não estão contemplados.

A arquitetura proposta por Ha & Byun (2012) trata-se de um sistema composto por um servidor de controle doméstico, dispositivos que devem ser usados juntamente com peças de roupas, uma rede de sensores Zigbee e um provedor de serviços para cuidados da saúde do paciente. O diferencial desse trabalho é a utilização do *framework Open Services Gateway initiative* (OSGi) que funciona sobre plataforma Java e oferece o suporte necessário para o desenvolvimento da interface e integração do sistema com os dispositivos de hardware. Sendo assim, todo o cerne do controle *homecare* é desenvolvido sobre esse *framework*.

Ribeiro et. al. (2010) desenvolveram um sistema de supervisão *homecare* que monitora a frequência cardíaca do paciente, pressão sanguínea e temperatura corporal por meio de sensores, colocados no paciente, e que se comuniquem com uma aplicação para smartphone desenvolvida em J2ME. A ideia central do sistema consiste em permitir que o mesmo possa se comunicar com uma unidade central por meio de redes ethernet (IEEE 802.3) ou Wi-Fi (IEEE 802.11) quando o paciente se encontra no hospital e através de GPRS (*General Packet Radio Service*) quando estiverem fora. O sistema conta ainda com um Servidor Web que armazena os dados do paciente que serão analisados pela equipe de saúde.

Outro foco de desenvolvimento de trabalhos que está sendo abordado diz respeito à utilização de smartphones no auxílio a criação de sistemas *homecare*. Nesse contexto, Kaneyasu & Akiyama (2012) realizaram um trabalho focado na avaliação da segurança da informação no que se refere à privacidade dos dados dos pacientes baseado na autenticação de pacientes através de cartões SIM (*Subscriber Identity Module*). O procedimento para acessar o sistema consiste em três etapas: conectar-se a uma rede VPN (*Virtual Private Network*); autenticação com o cartão SIM; e autenticação por meio de ID própria do usuário. As informações são passadas para o sistema pelo cuidador ou pelo próprio paciente e, depois de enviadas para um servidor central, elas são apagadas do smartphone como forma de aumentar o grau de proteção do sistema em caso de perda ou extravio do aparelho.

Adotando também a linha da portabilidade e funcionalidade dos *smartphones*, Lee (Lee, 2012) apresenta o desenvolvimento de um sistema que auxilia o acompanhamento médico por meio de preenchimento digital do formulário de dados do paciente em uma aplicação para *smartphone*. Esse preenchimento acontece quando os pacientes recebem a visita em casa de uma equipe de saúde. Além do preenchimento de dados de texto sobre a situação do paciente, imagens também podem ser armazenadas no sistema.

Zhou et. al. (Zhou *et al.*, 2011) desenvolveram um sistema de tomada de decisão baseado em ambiente inteligente sensível ao contexto chamado EHA (*Elderly in-Home Assistance*). O trabalho é direcionado a cuidados a idosos tendo como base o conhecimento prévio de algumas atividades que estes podem realizar em um determinado ambiente, tais como tomar uma medicação, assistir TV, escovar os dentes, lavar o rosto ou vestir uma roupa. Dessa forma, o sistema é capaz de identificar, prever, interpretar e atuar de acordo com a atividade diária que o idoso esteja realizando e assisti-lo, como por exemplo, lembrando-o de tomar determinado medicamento ou avisando-o que ainda não é o momento para tal ação. Trata-se de um projeto conceitual que foi validado segundo um conjunto de variáveis que descrevem as informações de contexto em um caso particular de EHA, para o qual foram definidas 20 situações possíveis de tarefas.

Seguindo a mesma linha de trabalho voltado para cuidado de pessoas idosas, Naeemabadi et. al. (2011) apresentam uma plataforma de comunicação confiável para sistemas de *homecare*. Neste caso, os autores fazem uma análise de uma série de tipos de comunicação que podem ser utilizados para longas e curtas distâncias, bem como uma série de dispositivos para essa transmissão. A comunicação a curta distância é utilizada para o envio de dados entre uma Unidade Móvel responsável pela captura dos sinais vitais analisados e a Unidade Central Doméstica (UCD), que realiza o controle e avaliação desses dados, além de enviá-los para a Unidade de TeleCare (UTC). A comunicação de longa distância é feita entre a UCD e UTC. Após uma série de análises os autores sugerem os melhores padrões de comunicação e dispositivos, dentre os analisados.

Kang et. al. (2015) propuseram um sistema para uma casa inteligente baseada em internet das coisas (IoT). Este sistema pressupõe a existência de um conjunto de dispositivos interconectados via Wi-Fi ou Bluetooth para interagir com dispositivos móveis, servidores na nuvem ou outros dispositivos. O sistema proposto utiliza um conceito de três níveis para aquisição de dados, processamento das informações e avaliação do contexto. A proposta é fazer uso do conceito de internet das coisas para viabilizar a prospecção de novos modelos de negócios e ofertas de serviços.

Dijemeni & Roberts (2015) propuseram uma aplicação desktops para monitoramento homecare da saturação parcial de oxigênio em pacientes de e frequência cardíaca e controle do fluxo de oxigênio que é liberado para o paciente em tempo real. O sistema consiste em um computador onde o sistema realiza o controle do fluxo de ar liberado para o paciente, um oxímetro de pulso que capta os sinais de SpO<sub>2</sub> e frequência cardíaca, temperatura do gás e pressão absoluta (controlador de fluxo de massa). Os dados são capturados e enviados para uma estação base, localizada em um hospital, que permitirá à equipe de saúde tomar decisões de acordo com o estado clínico do paciente. Um problema dessa proposta consiste no fato de que o controlador de fluxo de massa é alimentado por uma bateria, a qual não é monitorada. Além disso, o sistema possui um nível de portabilidade bastante limitada dada a necessidade de um desktop para processar os

dados da aplicação, não estando o sistema de forma embarcada. Não obstante, a necessidade de envio dos dados para uma estação base mostra como um ponto falho e dependente da conexão com a internet necessária para realização do controle. Além disso, as ações de intervenção direta no paciente demonstram-se preocupante haja vista que o sistema não foi homologado por nenhum órgão de regulação, bem como não é demonstrado como esse controle é realizado.

#### 2.4.2. *Sistemas de Monitoramento Homecare para ELA*

Bustamante et. al. (2010) apresentam o desenvolvimento de uma arquitetura de um sistema para monitoramento de pacientes que são acometidos pelas Doença de Parkinson (DP) e ELA baseado na realização de testes para verificar o grau de evolução das doenças. A arquitetura consiste de uma luva dotada de sensores para realização de dois testes: o teste de bater com os dedos continuamente (Finger Tapping Test) e o teste de força quando o paciente agarra um objeto (Hand-grip Strength Test); um dispositivo microprocessado acoplado à luva e recebe os sinais enviados pelos sensores da mesma e armazena essas informações em uma unidade de memória; por fim, uma aplicação de software para computador doméstico que recebe as informações armazenados no dispositivo microprocessado, através de uma interface *Universal Serial Bus* (USB), e as disponibiliza por meio de gráficos para a equipe de saúde.

Madani et. al. (2010) e Baga et. al. (2009) sugerem a criação de um sistema de monitoramento e possível modelagem do comportamento de pacientes afetados por DP e ELA. Para tanto, o sistema é capaz de gerenciar e monitorar o paciente em domicílio, por meio de identificação de status do paciente (*on/off*), tremores, discinesia induzida por medicamentos e eventos de queda. O sistema como um todo pode ser entendido em três partes: um conjunto de dispositivos que constituem uma rede de sensores que devem ser colocados no paciente, ou constituírem parte de uma peça do vestuário como uma camisa ou luva, tais como acelerômetro,

giroscópio, *electrooculograph*<sup>1</sup> (EOG), oxímetro de pulso e sensor de pele galvânico; outro elemento que também é parte desse sistema é uma unidade de processamento local que coleta todos os dados gerados pela rede de sensores e envia-os para a unidade central do hospital, além disso, realiza uma série de outras atividades tais como: verificação da sincronização e coordenação dos sensores, identificação das tarefas agendadas realizadas e não realizadas, geração de alertas para o paciente; a unidade central do hospital proporciona uma interface para a equipe de saúde por analisar os dados do paciente, bem como prescrever testes para realizados e/ou medicamentos ingeridos.

## 2.5. Considerações

Nesta Sessão foram destacados os aspectos da evolução das tecnologias utilizadas no desenvolvimento de sistemas de monitoramento de pacientes com problemas ventilatórios. Neste sentido, foram encontrados poucos trabalhos destinados a monitoração domiciliar de pacientes com Esclerose Lateral Amiotrófica, demonstrando claramente a necessidade do desenvolvimento de mais trabalhos de pesquisa nessa área dada a natureza peculiar das condições de evolução rápida da doença. Além disso, nessa Sessão foram apresentadas as fundamentações teóricas utilizadas para o desenvolvimento da arquitetura distribuída baseada em visão computacional e lógica Fuzzy.

---

<sup>1</sup>Trata-se de um dispositivo constituído por dois eletrodos que são fixados ao lado dos olhos e é capaz de detectar o movimento desses por meio da medição do diferencial de voltagem que é gerado por este movimento quando o indivíduo olha para esquerda ou para a direita.

---

## Sessão 3



---

### 3. Materiais e Metodologia

---

Esta Sessão dedica-se à apresentação dos materiais utilizados, tanto de *hardware* como *software*, ao longo do desenvolvimento da pesquisa, a metodologia utilizada e a arquitetura que foi criada para proporcionar a avaliação do impacto do estudo, bem como, uma solução para monitoramento domiciliar de pacientes com ELA.

A concepção da arquitetura teve como princípio o atendimento às necessidades da equipe de saúde e o auxílio ao trabalho do cuidador. Para tanto, foi elaborado um questionário para entender essas necessidades e definir a arquitetura do sistema e os algoritmos por ela utilizados. Nas subseções seguintes serão apresentados cada um dos elementos utilizados e a forma com que os mesmos se comunicam para realização do monitoramento dos pacientes com ELA sob prescrição de tratamento com VNI noturna.

#### 3.1. Arquitetura do Sistema de Monitoramento

A arquitetura geral do sistema foi dividida em três partes (Figura 3-1), a saber: Módulo *Homecare*; Módulo Supervisório; Módulo Cuidador. Cada um desses módulos interage de forma colaborativa para que o tratamento do paciente possa ser acompanhado de forma constante durante o período de ventilação permitindo à equipe de saúde obter, de forma remota, informações detalhadas sobre as condições do paciente durante ou após a ocorrência do processo ventilatório. Além disso, aumentando a eficiência da vigilância quanto ao trabalho do cuidador.

## Um Anjo para ELA

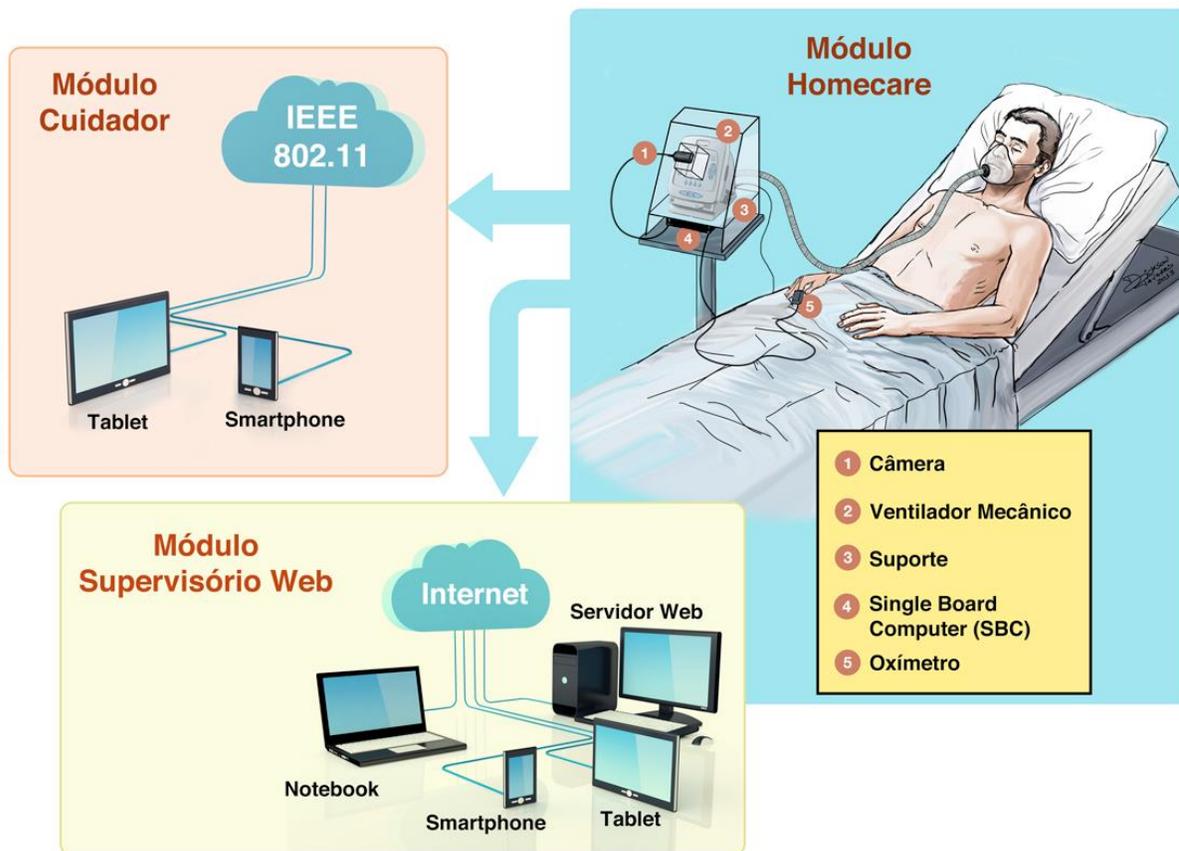


Figura 3-1: Arquitetura de Monitoramento Um Anjo para ELA

O **Módulo Homecare** é instalado na casa do paciente, juntamente com o ventilador mecânico, e é composto por um conjunto integrado de *hardware* e *software* tendo por objetivo principal a extração e monitoração dos dados de parâmetros vitais do paciente, os quais são enviados para o Módulo Supervisório. Além disso, o Módulo *Homecare* gera mensagens de alertas que são enviadas para o Módulo Cuidador. Os componentes de *hardware* que compõem o Módulo *Homecare* são os seguintes:

- Um computador de placa única (*Single Board Computer* - SBC) que dispõe de interfaces de comunicação padrão IEEE 802.11 e *bluetooth*, além de comunicação serial (*Universal Serial Bus* - USB) e RS-232, um processador *dual core* 1.2 GHz, 1GB de memória RAM;

- Uma câmera com resolução HD de 720p;
- Uma Plataforma de Prototipagem Eletrônica de Hardware Livre (PPEHL) modelo Arduino UNO baseada em microcontrolador Atmega 380p que é integrada ao SBC;
- Um oxímetro de pulso;
- Um roteador sem fio padrão IEEE 802.11;
- Uma caixa de acrílico que envolve todos esses componentes e os protege contra impactos e ações externas (poeiras e líquidos). Não obstante, este suporte também tem a função de eliminar as interferências luminosas externas que podem atrapalhar o processo de captura das imagens do *display* do ventilador mecânico. Devido à variação de luminosidade do ambiente, principalmente em ambientes com lâmpadas fluorescentes.

Os *softwares* que foram instalados no Módulo *Homecare*, subdividem-se em dois componentes de *hardware* distintos, o SBC e o Arduino.

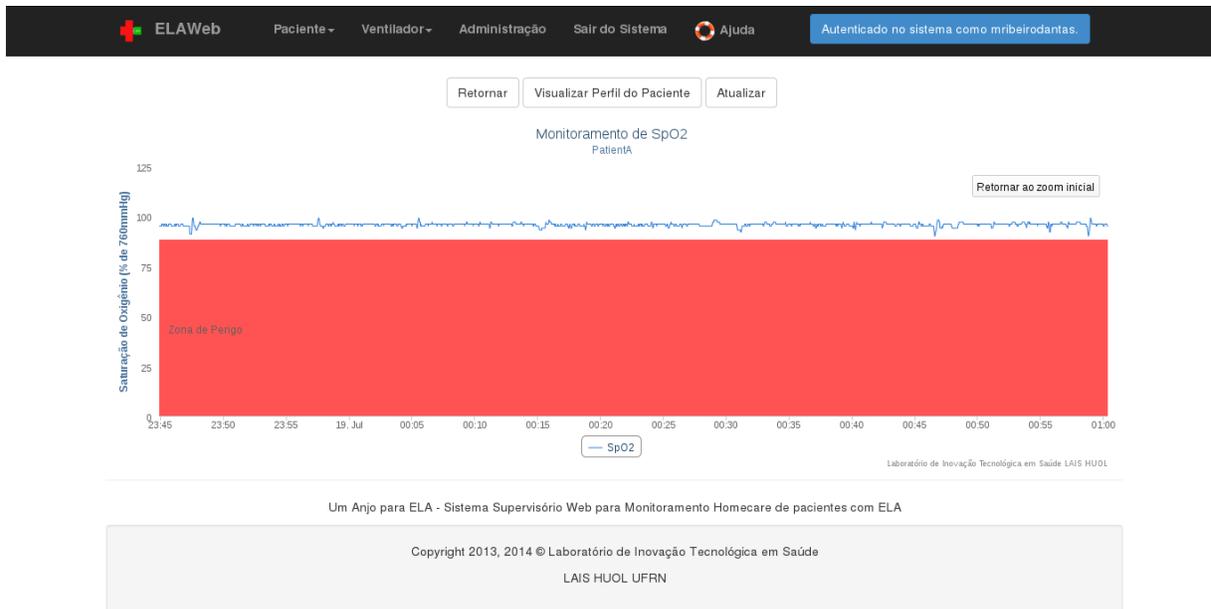
- Para o SBC destacam-se:
  - Um sistema operacional que serve de suporte para os demais *softwares* da placa e que estabelece a comunicação com os Módulos Supervisório e de Acesso Remoto;
  - Um *software* de visão computacional, escrito em linguagem C++, que utiliza a biblioteca OpenCV (Dawson-howe, 2014) para extrair os parâmetros respiratórios da tela do ventilador mecânico juntamente com a *engine* Tesseract (Smith, 2007);
  - Um Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados Local (SGBD-Local) baseado em PostgreSQL 9.2.4;
  - Um sistema baseado em lógica *fuzzy* para geração de alertas em função das condições dos parâmetros vitais do paciente;
  - Um sistema para controle de armazenamento local;
  - Um servidor multiclente TCP responsável por gerenciar as comunicações com diversas aplicações do Módulo Cuidador.
- Para o componente Arduino destacam-se:

- Um *software* que se comunica com o oxímetro de pulso, por meio de uma porta serial USB, e com isso extrai os sinais de SpO<sub>2</sub> e frequência cardíaca do paciente para que estes sejam enviados para o SBC. Nesse caso, a cada um segundo uma informação referente à frequência cardíaca e ao SpO<sub>2</sub> são enviados para o Módulo *Homecare*.

A adoção de um *software* baseado em visão computacional utilizado nesse sistema para obtenção dos parâmetros respiratórios do paciente justifica-se por: (i) o respirador mecânico (Breas, 2012) não possuir uma interface que permita o monitoramento on-line desses parâmetros; (ii) o Hospital Universitário Onofre Lopes, onde a pesquisa foi desenvolvida, contar com uma reserva desses equipamentos que são utilizados para a ventilação de pacientes; (iii) o ventilador mecânico ser um dispositivo amplamente testado e adotado nas instituições de saúde, garantindo sua confiabilidade; (iv) a visão computacional apresenta-se como solução mais viável, do ponto de vista econômico e operacional, que a construção de um novo ventilador dotado de interfaces de comunicação. Outrossim, foram feitas pesquisas em outros tipos de ventiladores mecânicos, todos apresentam algum tipo de limitação quanto ao acesso aos dados, quer seja por usar *software* proprietário ou por não utilizar um protocolo aberto de comunicação (Philips, 2012; Carefusion, 2012). Por esta razão, a utilização de visão computacional surgiu como uma alternativa para obtenção dessas informações independente do que o equipamento possa fornecer.

O **Módulo Supervisório** é instalado em uma unidade de saúde central e é composto por um servidor que abriga um Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD) e um Supervisório (aplicação *web*). Esse módulo permite que a equipe de saúde possa acessar e acompanhar a evolução dos tratamentos clínicos de cada paciente de maneira remota. Essa aplicação *web* foi desenvolvida na linguagem de programação Python, através do *framework* Django, e integrada a um SGBD (PostgreSQL 9.2.4), o qual mantém e gerencia todos os dados dos pacientes e das equipes de saúde. As informações referentes aos dados de monitoramento dos pacientes podem ser visualizadas na forma de gráficos, o que possibilita uma análise mais ampliada e facilita o processo de interpretação dos dados no tratamento aplicado ao paciente (Figura 3-2). Somente os usuários cadastrados no sistema

podem ter acesso às informações dos pacientes, pois é necessário que estes se autenticuem. A autenticação se dá por meio de um método baseado em *login* e senha. Como o supervisório foi implementado de forma responsiva, ou seja, se adapta ao tamanho da tela do dispositivo, o mesmo poderá ser acessado por dispositivos com diferentes tamanhos de tela o que permite uma melhor visualização em dispositivos com telas pequenas, tais como *smartphones*.



**Figura 3-2: Supervisório Web**

O **Módulo Cuidador** é um aplicativo que pode ser embarcado em qualquer dispositivo móvel (*smartphone*, *tablet*, etc.) sob a posse do cuidador. Este módulo tem por objetivo conectar-se ao Módulo *Homecare*, por meio de uma rede IEEE 802.11, e receber as mensagens de alerta para informar ao cuidador sobre uma possível situação de risco do paciente e qual procedimento adotar. O *software* foi desenvolvido sob a Interface de Programação de Aplicativos (*Application Programming Interface* - API) nível 10 a qual permite que o aplicativo possa ser instalado em plataformas Android 2.3.3 ou superior, o que corresponde à maioria dos aparelhos do mercado. A Figura 3-3 ilustra da tela de interface de conexão do Módulo Cuidador. Esta interface permite que o módulo cuidador conecte-se ao

Módulo *Homecare*, através do número IP e da porta do serviço, e aguarde o envio de possíveis mensagens de alerta.

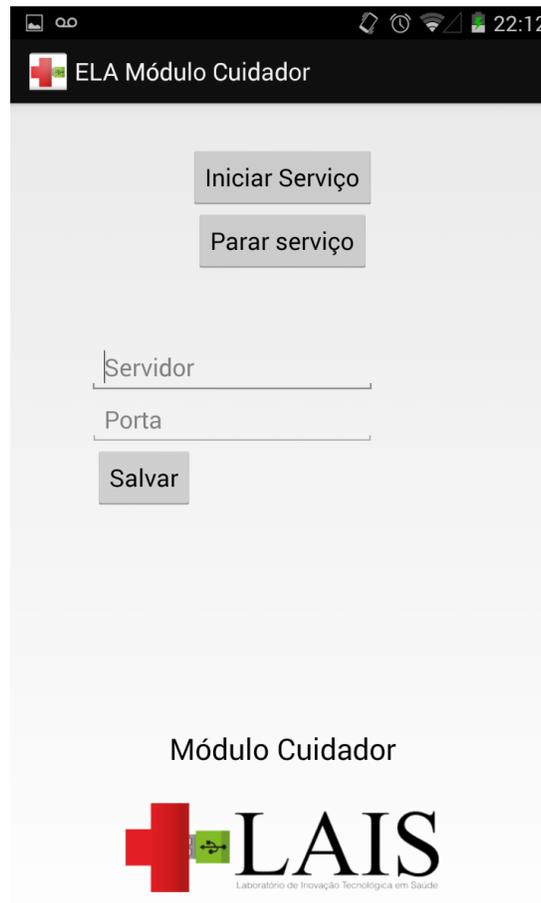


Figura 3-3: Tela de conexão do Módulo Cuidador

### 3.2. Processo de Armazenamento Distribuído

A arquitetura de armazenamento distribuído foi desenvolvida para tornar o sistema mais confiável durante todo o processo de monitoramento e armazenamento dos dados capturados. Para tanto, os dados são armazenados em dois módulos, o Módulo *Homecare* e o Módulo Supervisor.

O SGBD-*Homecare* (Módulo *Homecare*) tem por objetivo o armazenamento da informação dos parâmetros vitais que forem medidos para posterior envio para a base de dados do Módulo Supervisor. Esta prática destina-se à guarda da informação, caso uma falha de comunicação com o supervisor ocorra impedindo

que as informações sejam enviadas. Dessa forma, as informações ficam retidas e não serão perdidas em função da ocorrência de uma falha de comunicação. Assim, após a comunicação ser reestabelecida os dados serão enviados para o supervisor, que confirmará o recebimento dos mesmos, e posteriormente a informação armazenada no SGBD-*Homecare* será apagada. Sendo assim, o SGBD-*Homecare* não tem o objetivo de reter informações, mas preservá-las até que sejam armazenadas no SGBD do Módulo Supervisor.

O SGBD-*Web*, o segundo da arquitetura, está instalado no Módulo Supervisor e tem por objetivo o armazenamento das informações a cerca dos parâmetros vitais do paciente que são fornecidos pelo respirador mecânico (frequência respiratória, volume de ar e fuga de ar) e pelo oxímetro de pulso (SpO<sub>2</sub> e frequência cardíaca). Além disso, a base de dados permite o cadastro de usuários com dois diferentes perfis, o de administrador do sistema supervisor e o de profissional de saúde.

### **3.3. Arquitetura de Comunicação**

As comunicações estabelecidas entre os módulos da arquitetura são apresentadas da seguinte forma: Módulo Supervisor e Módulo *Homecare*; e a comunicação entre o Módulo *Homecare* e Módulo Cuidador. Dessa forma, a descrição desse processo está dividida nas seguintes etapas conforme Figura 3-4-4.

A conexão estabelecida entre o Módulo *Homecare* e o Módulo Supervisor não requer grande largura de banda nem alta disponibilidade, posto que as informações a serem enviadas são da ordem de 10 KB e caso haja falha de comunicação momentânea as mesmas serão armazenadas na base de dados do Módulo *Homecare*. Dessa forma, é possível utilizar várias tecnologias (Rádio Frequência, 3G, 4G, *Cable Modem*, xDSL - *Digital Subscriber Line*) de acesso à Internet para o estabelecimento dessa comunicação. Como toda a comunicação acontece com o protocolo TCP/IP da camada de transporte de dados, a garantia de entrega das mensagens é assegurada. Além disso, para garantir segurança e privacidade aos dados que são transmitidos do Módulo *Homecare* para o Módulo

Supervisório é utilizado o TSL (*Transport Layer Security*). A cada um segundo as informações dos dados vitais do paciente são enviadas para o Módulo Supervisório.

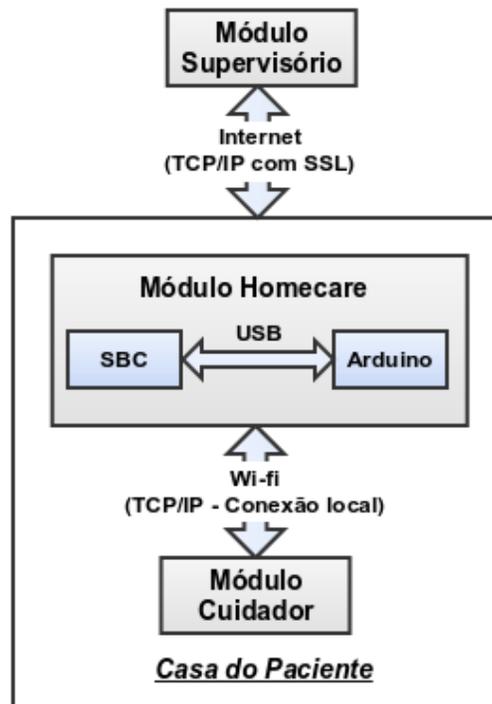


Figura 3-4: Comunicação entre os Módulos da Arquitetura

No Módulo *Homecare* existe uma comunicação entre a SBC e o Arduino que se dá por meio de USB. Esta comunicação serve para que os sinais de saturação parcial de oxigênio e frequência cardíaca possam ser enviados para a SBC. Neste caso, o Arduino atua como um microcontrolador que captura, processa e condiciona os sinais que são gerados pelo oxímetro de pulso. Estas informações são enviadas segundo uma taxa de amostragem de 1 dado (de cada variável medida) por segundo e o início desse processo ocorre de acordo com a demanda da SBC, ou seja, a SBC é responsável por iniciar o processo de captura dessas informações.

O Módulo Cuidador conecta-se ao Módulo *Homecare* por meio de uma comunicação IEEE 802.11. A escolha por esse tipo de conexão deu-se por ela permitir um maior raio de alcance de comunicação, o que possibilita um maior grau de mobilidade do cuidador dentro da casa em que o paciente se encontra. No que se refere ao protocolo de comunicação, toda ela acontece com o protocolo TCP/IP. Além disso, para conferir o mínimo de segurança e privacidade aos dados que são

enviados, é utilizado um mecanismo de autenticação via certificado digital e criptografia com IEEE 802.11, que gera um menor *overhead* de processamento que o IEEE 802.11i. É importante destacar que não é escopo dessa tese a exploração de problemas relacionados às questões de segurança, relacionadas à tolerância a falhas, nem análise de fluxo de tráfego. Porém, é importante destacar que tais temas são relevantes e podem ser mais aprofundadas em outros trabalhos.

### **3.4. Arquitetura de Processamento**

O processamento dos sinais e das informações dos pacientes acontece de forma distribuída. Por esta razão, cada módulo tem um papel importante no que se refere aos processamentos e serão descritos de forma separada. Sendo assim, as subseções seguintes descrevem o tipo de processamento que é realizado em cada um dos Módulos da Arquitetura do Sistema.

O Módulo *Homecare* é núcleo principal dessa arquitetura. Ele é o responsável pelo processamento dos sinais vitais do paciente e geração de alertas, o qual é feito utilizando lógica *fuzzy*. Além disso, este módulo também possui um componente fundamental para o sistema que é a visão computacional, responsável por extrair as informações da tela do ventilador mecânico. O modelo do respirador mecânico utilizado não permite que os dados sejam recuperados de forma direta. Por esta razão, o sistema utiliza técnicas de visão computacional que são utilizadas para capturar os dados diretamente da tela do respirador mecânico. Neste caso, a utilização de visão computacional justifica-se pelo fato de o aparelho já ser um equipamento certificado junto aos órgãos de fiscalização brasileiro (Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA). Sendo assim, qualquer modificação no *hardware* demandaria um novo processo de validação do equipamento, bem como violação da patente do mesmo.

#### *3.4.1. Algoritmo de Visão Computacional*

A linguagem de programação C++ foi escolhida para a implementação do algoritmo de visão computacional dentro Módulo *Homecare*. A escolha por essa linguagem reside no fato de esta ser uma linguagem portátil para várias plataformas

e por apresentar um alto desempenho de processamento em sistemas embarcados (Martinez *et al.*, 2008; Li & Malik, 1995). Como complemento deste componente foram utilizadas duas ferramentas: uma biblioteca de visão computacional e outra para reconhecimento de caracteres. A biblioteca de visão computacional escolhida foi a OpenCV (*Open source computer vision*), pelo fato de esta ser uma biblioteca bastante madura e já consolidada pela comunidade acadêmica (Isaza *et al.*, 2012). Além disso, dispõe de recursos para processamento de imagens os quais são necessários para esse trabalho tais como: a segmentação de imagens, equalização de histograma, filtros e interface com câmera.

Após o processamento da imagem, é necessário que as informações referentes aos parâmetros vitais sejam extraídas da imagem da tela do respirador mecânico através de técnicas de reconhecimento óptico de caracteres (*Optical Character Recognition - OCR*). No caso, foi escolhida a *engine* Tesseract devido às seguintes características: portabilidade, pois se trata de uma engine multi-plataforma; *engine* compatível com sistemas GNU/Linux; amadurecimento do projeto frente aos concorrentes de mercado (Selinger, 2007; Patel *et al.*, 2012), tais como, GOCR (GOCR, 2000), Ocrad (Ocrad, 2003), Simple OCR (SimpleOCR, 2001) e Transym OCR (TOCR, 2013); API bem estruturada e compatível com a OpenCV.

O algoritmo de visão computacional objetiva extrair as informações do respirador mecânico sem que para isso seja preciso interferir na arquitetura do mesmo, nem quebrar/violar o sistema de proteção e criptografia do próprio dispositivo. A Figura 3-5 ilustra um exemplo da tela do ventilador mecânico e as informações que dele são extraídas.

VC Estimado 0.00 l	FR Total 4 rpm
Fuga 16 l/min	Relação I:E 1.0 : 4.0

Figura 3-5: Tela do Ventilador Mecânico com as Informações a serem extraídas

O algoritmo de visão computacional é um componente da arquitetura que é responsável pela extração de parâmetros respiratórios, porém, caso haja um ventilador mecânico que possa enviar essas informações de forma direta (porta de comunicação serial ou *ethernet*, por exemplo) a visão computacional poderá ser substituída pela comunicação direta para obtenção da informação sem prejuízos para a arquitetura geral do sistema.

O procedimento de captura da imagem da tela do respirador acontece com a instalação de uma câmera que é afixada em frente à tela do ventilador mecânico. Isto permite que sejam especificadas as coordenadas exatas das regiões de interesse e evita processamento extra na busca dessas regiões. Após a captura da imagem, o Quadro 1 ilustra o algoritmo que desenvolvido para processamento dos frames capturados.

*Entrada. Imagem capturada da tela do ventilador mecânico;*

*Saída. Caracteres processados e reconhecidos;*

*Enquanto (verdade) faça*

*Capture frame;*

*Converta frame para escala de cinza;*

*Aplique filtro de média gaussiana;*

*Equalize e normalize a imagem;*

*Reconheça caracteres via OCR;*

*Envie resultados.*

*Fim enquanto;*

**Quadro 1: Algoritmo de visão computacional e reconhecimento OCR**

Conforme pode ser observado no Quadro 1, o primeiro passo consiste na captura do *frame* (Figura 3-5) que contem as informações a serem extraídas. Após essa etapa, é feita uma conversão no espaço de cores da imagem, onde esta é convertida de um espaço RGB (*Red, Green, Blue*) para um de escala de cinza. Em seguida, aplica-se um filtro de média gaussiana para a suavização das bordas. Posteriormente é feita a equalização do histograma e normalização da imagem, no caso, os números a serem extraídos, para que seja aumentado o contraste da imagem. Isto faz com que as regiões de interesse fiquem mais destacadas para que posteriormente a *engine* Tesseract possa fazer o reconhecimento dos caracteres.

Após o reconhecimento dos caracteres, o resultado é enviado para o algoritmo de correção e detecção de erros.

É importante destacar que, como forma de evitar a interferência gerada por fontes de luzes externas, o que atrapalhava o processo de extração de informação dos parâmetros respiratórios da imagem da tela do respirador mecânico, foi construído um suporte em acrílico fosco para abrigar este respirador (Figura 3-6). Dessa forma, as interferências causadas por fontes externas são minimizadas. Todavia, isso foi possível porque o próprio respirador mecânico dispunha de lâmpadas internas que são responsáveis pela iluminação da tela, caso contrário, seria necessária a instalação de uma fonte de luz dentro da suporte para esta iluminação.



**Figura 3-6: Suporte em acrílico para abrigar o ventilador mecânico e o Módulo Homecare**

#### *3.4.2. Algoritmo de Detecção e Correção de Erro*

Antes dos valores gerados pelo algoritmo do Quadro 1 serem enviados para o processamento Fuzzy, eles passam por um tratamento de detecção e correção de erros para melhorar o desempenho do sistema. A metodologia utilizada para detecção e correção de erros do algoritmo de visão computacional baseou-se em um algoritmo de janela deslizante (Lee *et al.*, 2001) e na utilização do valor médio quadrático e na média dos valores medidos dentro do intervalo da janela. Este tipo de estratégia é adequado quando se utiliza algoritmo com janelamento (De Luca,

1997). A definição do tamanho da janela para amostragem dos valores levou em consideração dois fatores: o tempo de resposta do sistema e as recomendações da academia e MS brasileiro (Brasil, 2008; CHEST, 1999), sendo fixado o tamanho de 60 segundos, que também corresponde ao tamanho da amostra. Como o sistema possui uma taxa de amostragem de uma amostra por segundo, a atualização da janela acontece a cada 60 segundos. Desta forma, a cada captura de 60 amostras o sistema atualiza o valor médio quadrático e da média dos valores dentro da janela para identificar possíveis erros de medição decorrentes da visão computacional. O sistema identifica como sendo um erro de medição qualquer valor que, dentro da janela, satisfaça a Função 3.1.

$$f(x) = \begin{cases} x & , (m - vmq) \leq x \leq (m + vmq) \\ erro & , \text{ caso contrário} \end{cases} \quad (3.1)$$

onde,

m: valor médio

vmq: valor médio quadrático

Esta função foi criada com o objetivo mitigar as ocorrências de valores de picos decorrentes de leituras incorretas. Em geral, os erros decorrentes dessa leitura se deram em função da captura de um frame mal formado, ou seja, no instante em que se dava a transição de um número para outro. Desta forma, o valor médio quadrático foi utilizado para diminuir a influência do erro sobre os limites inferior e superior em relação ao valor médio, bem como, os valores negativos resultantes.

O processo de detecção e correção de erro foi utilizado para minimizar os efeitos dos erros sobre os valores monitorados. Neste sentido, para cada conjunto de valores dentro da janela de monitoramento foi feita a análise individual de cada valor para identificar se o mesmo poderia ser um erro de leitura. Dessa forma, tendo como base a Função 3.1, chegou-se a definição do algoritmo descrito no Quadro 2. Este algoritmo descreve o método de detecção e correção de erro que foi usado pelo sistema.

```

Entrada:  $Vnp = 60$  valores não processados;
Saída:  $Vp = 60$  valores processados;

Enquanto (verdade) faça
     $rms \leftarrow$  calcule valor médio quadrado de  $Vnp$ ;
     $avg \leftarrow$  calcule valor médio de  $Vnp$ ;
    Para  $v \in Vnp$  faça
        Se  $(avg - rms) \leq v \leq (avg + rms)$  então
             $Vp \leftarrow v$ ;
        Senão
             $Vp \leftarrow avg$ ;
        Fim se;
    Fim para;
    // Processamento Fuzzy
Fim enquanto;

```

**Quadro 2: Algoritmo de Detecção e Correção de Erro**

### 3.4.3. Algoritmo Fuzzy

Os algoritmos de lógica *fuzzy* constituem uma técnica bastante difundida no meio acadêmico em diversas áreas da saúde, tais como: classificação de lesões de pele (Shahzad *et al.*, 2014), detecções de arritmias cardíacas (Karimifard & Ahmadian, 2011) e diversos sistemas *healthcare* (Abbod *et al.*, 2001). A lógica *fuzzy* é adequada para sistemas onde em que um subconjunto de valores podem ser mapeados em conceitos abstratos, tais como: "alto", "baixo", "quente", "frio" e etc (Ross, 2009). Assim, a lógica *fuzzy* foi utilizada para descrever conceitos inerentes às variáveis monitoradas pela arquitetura.

O algoritmo *fuzzy* desenvolvido para envio de mensagens de alertas pode ser entendido com base no que é descrito pelo Quadro 3. Após o processamento da imagem da tela do ventilador mecânico, são extraídos os parâmetros de interesse descritos anteriormente e enviados para uma função de *fuzzificação* que converte o valor recebido para uma dos valores definidos para as variáveis *fuzzy*, as quais correspondem aos valores "Baixo", "Normal" e "Alto". Em seguida, os valores convertidos são analisados para verificar a condição em que se encontra o paciente e se é necessário enviar alguma mensagem de alerta ao cuidador. Caso seja

necessário enviar algum alerta, o algoritmo identificará qual alerta deverá ser enviado, caso contrário o algoritmo voltará ao passo inicial para processar o próximo *frame* e repetir o processo de *fuzzificação* e processamento até que uma condição de alerta seja identificada. É importante destacar que o algoritmo conta com um temporizador que é utilizado para verificar o tempo em que o paciente se encontra em dessaturação prolongada. Caso o paciente permaneça por 5 minutos ou mais o algoritmo irá enviar a mensagem de alerta correspondente a esta situação.

```

Entrada: Vnp = 60 valores não processados;
Saída: Vp = 60 valores processados;
começarContagem = Verdade
Enquanto (verdade) faça
    // Processamento Visão Computacional
    Fuzzyficação das variáveis;
    Avaliação das funções de inferência;
    enviarAlerta = defuzzyficação(); // Avaliação da condição do sistema
    Se (enviarAlerta = DessaturaçãoProlongada) Então
        Iniciar contadorTemporalDessaturação;
    Senão
        Zerar contadorTemporalDessaturação;
    Fim Se;
    Se (enviarAlerta = Fuga de Ar) Então
        enviarMensagemDeAlerta();
    Senão
        Se (enviarAlerta = DessaturaçãoProlongada E contadorTemporalDessaturação >= 5 min.) Então
            enviarMensagemDeAlerta(estadosVariáveis);
        Fim Se
    Fim Se
Fim enquanto;

```

**Quadro 3: Algoritmo Fuzzy para envio de alertas**

### 3.4.4. Controlador Fuzzy

Para a definição do controlador *fuzzy* foi necessário primeiramente entender a lógica utilizada pela equipe de saúde para interpretar as informações geradas pelo respirador mecânico e pelo oxímetro de pulso. Estes equipamentos são responsáveis por dar o suporte necessário para monitorar o paciente. O entendimento do processo de acompanhamento da equipe de saúde teve como princípio a elaboração de dois questionários. Estes questionários serviram de base para que fosse possível montar o conjunto de variáveis observadas, as regras de inferência a serem utilizadas e o conjunto de ações que deveriam ser tomadas em função da condição do paciente.

O primeiro questionário (Questionário 1, Anexo 1), que tinha por objetivo definir as variáveis observadas e as regras de inferência, foi composto pelo seguinte conjunto de perguntas feitas à equipe de saúde formada por fisioterapeutas, pneumologistas e neurologistas:

De acordo com o Questionário 1, estabeleceu-se o seguinte conjunto de variáveis e os intervalos de valores possíveis. Para cada intervalo definiu-se o conceito de valores de níveis "Baixo", "Normal" e "Alto" como pode ser observado na Tabela 1. Os valores que cada variável pode assumir, bem como a faixa de valores das mesmas no que se refere às definições de conceito "Baixo", "Normal" e "Alto" foi consenso entre os membros da equipe de saúde (CHEST, 1999).

**Tabela 1: Variáveis Observadas e Valores Limites**

Variáveis Observadas	Valores Limites das Variáveis		
	Baixo	Normal	Alto
Fuga de Ar (L/min)	-	$X < 24$	$X \geq 24$
SpO <sub>2</sub> (%)	$X < 88$	$X \geq 88$	-

O Questionário 2 (Questionário 2, Anexo 1) teve por objetivo identificar as ações que podem ser tomadas pelo cuidador em função da condição do paciente. A elaboração deste questionário somente foi possível após a realização do Questionário 1, pois era necessário saber quais variáveis são avaliadas pela equipe de saúde e quais valores elas podem assumir. Nesse caso, o Questionário 2 constituiu-se de uma tabela (Tabela 2), a qual foi montada com base em todas as

variáveis observadas pela equipe de saúde e nos respectivos valores que estas poderiam assumir. Assim, a Tabela 2 cobre todo o conjunto de possíveis de situações às quais o paciente poderá estar submetido e a correspondente mensagem de alerta que deve ser gerada para o cuidador. Estas mensagens de alerta, foram sugeridas pela equipe de saúde e levaram em consideração o estado e a gravidade da situação do paciente, as quais estão necessariamente associadas à fuga de ar e à dessaturação de oxigênio.

**Tabela 2: Mensagens de alerta para cada estado do paciente**

Estado do Paciente			Código	Texto da Mensagem
Condição	SpO <sub>2</sub>	Fuga de Ar		
A	Baixo	Normal	msg1	Hipoventilação, verifique o oxímetro. Se persistir contacte a equipe de saúde!
B	Baixo	Alta	msg2	Verifique o circuito e conexões de mascara!
C	Normal	Normal	-	Sem alerta.
D	Normal	Alta	msg2	Verifique o circuito e conexões de mascara!

#### 3.4.5. Funções de Pertinência Fuzzy

As funções de pertinências são responsáveis por mapear o valor de uma variável dentro de um conjunto *fuzzy* (Zadeh, 1988; Ralescu, 94). Desta forma, de acordo com os valores que estas variáveis assumem ao longo do tempo é feito um mapeamento destas dentro de um conjunto que pode ser "Baixo", "Normal" ou "Alto", a depender de cada variável. As variáveis que foram definidas para formação dos conjuntos *fuzzy* foram: Fuga de Ar e Saturação Parcial de Oxigênio. Sendo assim, com base nas informações coletadas, foram definidas as seguintes funções de pertinência para cada uma dessas variáveis, as quais são representadas pelos gráficos constantes na Figura 3-7 e Figura 3-8.

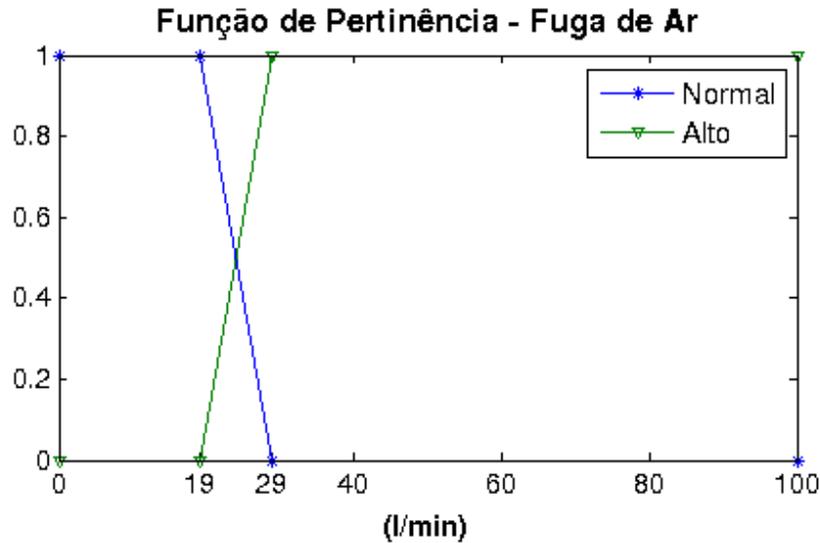


Figura 3-7: Função de Pertinência para Fuga de Ar

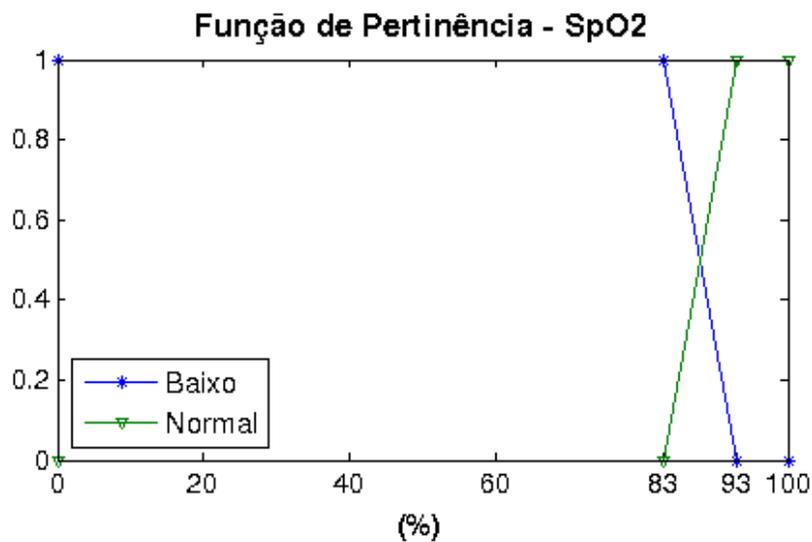


Figura 3-8: Função de Pertinência para SpO<sub>2</sub>

#### 3.4.6. Geração das Mensagens de Alerta

As mensagens de alertas são geradas pela SBC, de acordo com a condição do paciente, e enviadas via padrão de comunicação IEEE 802.11 para o Módulo Cuidador. Neste caso, é enviado o código que será interpretado pelo Módulo Cuidador para que este apresente a mensagem correspondente por meio de um canal seguro (SSL). A condição para geração dessas mensagens é dependente de

cada uma das variáveis monitoradas. Não existe consenso entre os pesquisadores sobre os limites mínimos ou máximo dos valores para as fugas de ar ou dessaturação noturna contínua (SpO<sub>2</sub>) (Sancho *et al.*, 2014; Rabec *et al.*, 2009; Atkeson *et al.*, 2011). Por esta razão, foi adotada a convenção sugerida por consenso (CHEST, 1999) para dessaturação contínua e para fuga de ar foi adotado o sugerido por Rabec *et al.* (2009). São elas:

- Fugas de ar maiores que 24l/min por mais de 20% de duração do traçado;
- Dessaturação noturna menor ou igual 88% por 5 minutos contínuos.

Ao longo do processo de monitoramento podem acontecer oscilações nos valores medidos, todavia, essas oscilações podem ser função de erros aleatórios e não configurarem uma real situação de risco para o paciente. Não obstante, quedas esporádicas nos valores de SpO<sub>2</sub> podem acontecer devido à própria condição do paciente e o mesmo voltar à condição normal sem que para isso seja necessária a intervenção da equipe de saúde, por exemplo. Os registros encontrados na literatura constam sobre a avaliação das fugas de ar após a monitoração dos pacientes (Atkeson *et al.*, 2011), o qual não leva em consideração a intervenção em tempo real. Dessa forma, a equipe de saúde adotou como critério o valor de 1 minuto para fugas de ar e 5 minutos para SpO<sub>2</sub>. Sendo assim, cada uma das variáveis mensuradas devem permanecer o tempo mínimo ou superior correspondente em um estado fora do normal para que o alerta seja disparado.

### **3.5. Metodologia de Avaliação do Sistema**

Os casos de teste aconteceram com base no número de horas de monitoramento dos pacientes que foram analisados como estudo de caso piloto do sistema. O teste foi realizado em 29 pacientes com uso de máscara, sendo 12 homens e 17 mulheres, na faixa etária compreendida entre 35 e 60 anos. Para cada paciente foi realizado um ciclo de monitoramento noturno de 7 horas ao longo de 5 dias perfazendo um total de 35 horas por semana. Atualmente o HUOL realiza o acompanhamento e tratamento de 31 pacientes com ELA, porém somente 29 se

enquadram na condição inicial de avaliação, que são os pacientes que estão passando pelo processo de VNI noturna.

A captura dos vários sinais biológicos dos pacientes pela arquitetura é feita segundo uma taxa de amostragem de um sinal por segundo, gerando um total de 126.000 amostras para cada variável monitorada (Volume Corrente, Fuga de Ar, Frequência Respiratória, Frequência Cardíaca e Saturação Parcial de Oxigênio) em cada paciente durante as 35 horas de monitoramento. A escolha pelo espaço amostral de cinco dias para monitoramento tomou como referência as recomendações encontradas na literatura (CHEST, 1999) e na Portaria número 370, de 4 de Julho de 2008, da Secretaria de Atenção à Saúde do Ministério da Saúde (SAS/MS) (Brasil, 2008).

Como forma de avaliação do sistema foram considerados os seguintes pontos:

- A taxa de acerto de reconhecimento dos caracteres;
- O instante de tempo em que as mensagens de alerta são geradas;
- O código da mensagem de alerta gerada em função da condição do paciente.

### **3.6. Metodologia de Análise para Geração de Alertas**

A análise e validação do sistema de geração de alertas fuzzy foi feita por meio da apresentação das leituras dos sinais vitais do paciente à equipe de saúde formada por dois fisioterapeutas e um médico, via Módulo Supervisório (Figura 3-2). Foram escolhidos três avaliadores da equipe de saúde (dois fisioterapeutas e um neurologista) e cada um fez uma análise individual a cerca dos valores monitorados. Nesta análise, cada avaliador informou, individualmente, o instante de tempo e qual mensagem de alerta deveriam ser gerada.

O gráfico de valores apresentado à essa equipe (Módulo Supervisório) continha o conjunto das variáveis medida ao longo do tempo e a informação sobre o instante de tempo em que um alerta foi gerado e a mensagem do mesmo. Desta forma, a equipe de saúde confirmava se a mensagem estava correta, bem como o instante de tempo em que a mesma foi gerada. Assim, o sistema foi avaliado sob

duas circunstâncias: o instante em que a mensagem de alerta deveria ser enviada e qual mensagem deveria ser enviada.

Para a geração dos alertas foram utilizados dois temporizadores, um para Fuga de Ar e outro para SpO<sub>2</sub>, que realizam a contagem contínua de cada um dos tempos em que a variável permanece uma condição de anormalidade. Sendo assim, o temporizador para a Fuga de Ar dispara um alerta correspondente ao mesmo quando a variável permanece por 60 segundo ou mais em uma condição de anormalidade. O temporizador referente ao SpO<sub>2</sub> dispara um alerta ao atingir o tempo limite de 5 minutos contínuos (captura de 300 amostras) em uma condição de anormalidade, ou seja, quando a dessaturação estava abaixo de 88%. Em ambos os casos o temporizador é zerado sempre que as variáveis medidas voltavam à condição normal.

Durante o experimento, o processo de monitoramento dos pacientes utilizados para a avaliação do sistema não foi submetido a nenhuma ocorrência de dessaturação prolongada que contemplasse o requisito temporal para disparo do alarme neste caso específico. Assim, as mensagens de alerta que contemplam essa situação não foram possíveis de ser geradas através dos estímulos recebidos pelo experimento (monitoramento dos pacientes). Todavia, para que a arquitetura fosse submetido a esse tipo de avaliação, foi criada uma base de dados com valores que simulam os resultados obtidos por meio dos sensores os quais foram lidos e interpretados pelo sistema. A base de dados criada continha 100 ocorrências aleatórias de dessaturação prolongada e fugas de ar em um total de 126.000 amostras, o que corresponde ao mesmo tempo de 35 horas monitoradas no experimento. Neste caso, esta base de dados foi utilizada para avaliar a conformidade do sistema quando submetidos às situações previstas que não foram possíveis de ser alcançadas por meio dos experimentos monitorados (condição "A" ou "B" da Tabela 2). A Figura 3-9 apresenta o modelo arquitetural que compreende os dois métodos de avaliação, com situações reais e emuladas. Com relação às condições emuladas, foram criados estados aleatórios correspondentes às condições "A" e "B", 35 e 65 respectivamente. Tanto o processamento dos dados emulados

quanto dos experimentos foram apresentados à equipe de saúde para que fossem avaliados.

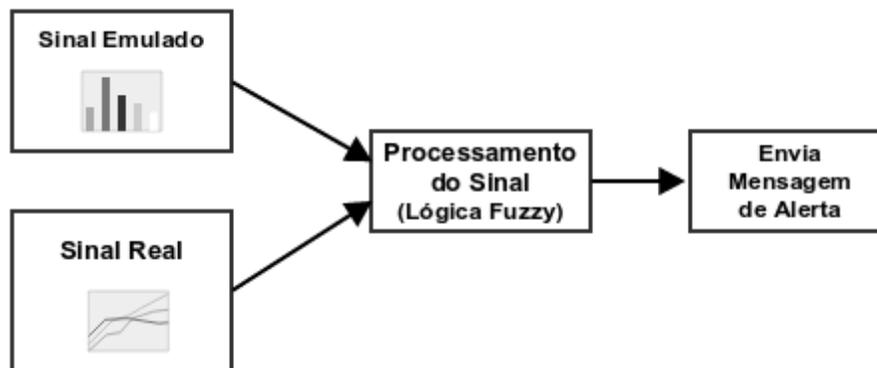


Figura 3-9: Modelo de captura dos sinais reais e emulados

### 3.7. Considerações

Nessa Sessão foram apresentados: todos os materiais utilizados para implementação dos módulos da arquitetura distribuída de telemedicina de monitoramento domiciliar; a metodologia de interconexão dos três módulos propostos pela arquitetura. Além disso, foi demonstrado todo o processo de concepção da arquitetura, desde a extração das regras e conjuntos Fuzzy, bem como o desenvolvimento dos algoritmos Fuzzy e de detecção e correção de erros. Não obstante, foi apresentado o algoritmo de visão computacional que é encarregado de obter parte das informações que são processadas para geração das mensagens de alerta. Por fim, foi demonstrada a metodologia de avaliação da arquitetura e do sistema de geração de alertas para o cuidador.

---

## Sessão 4



---

### 4. Resultados e Discussões

---

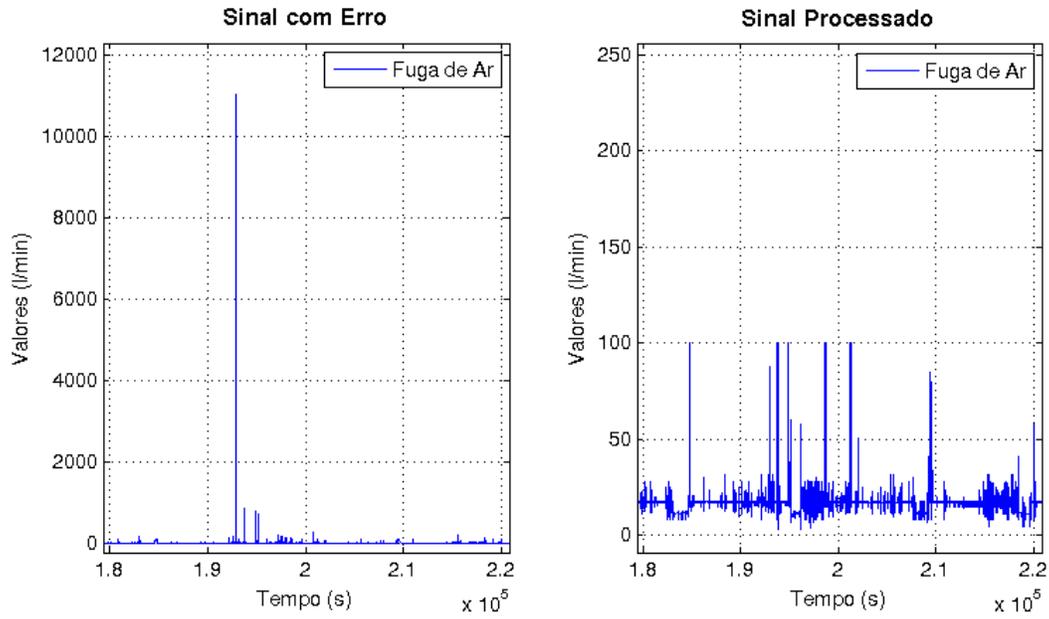
Esta Sessão dedica-se a apresentação dos resultados obtidos pelo experimento, bem como a análise e discussão desses resultados.

#### 4.1. Resultados

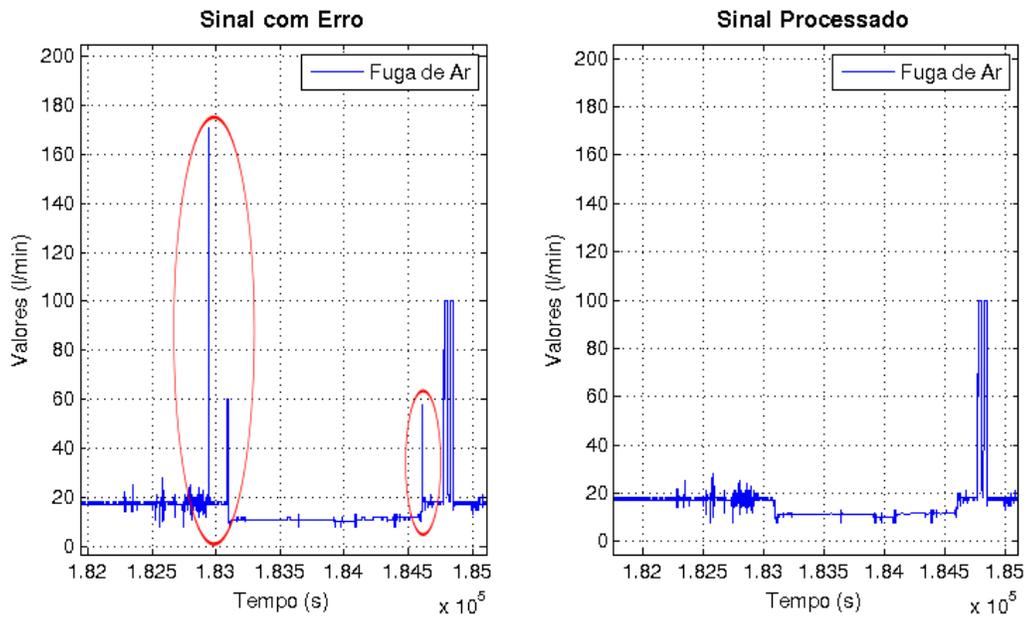
O sistema de monitoramento passou por avaliações de desempenho, com foco na precisão e eficiência de acertos do sistema de visão computacional e da geração de alertas. A seguir, são apresentados os resultados do sistema analisando o comportamento do algoritmo de visão computacional para tratamento das imagens da tela do ventilador mecânico e reconhecimento de caracteres. Posteriormente, será analisado o módulo de geração de alertas para o cuidador.

##### 4.1.1. Visão Computacional e Detecção de Erros

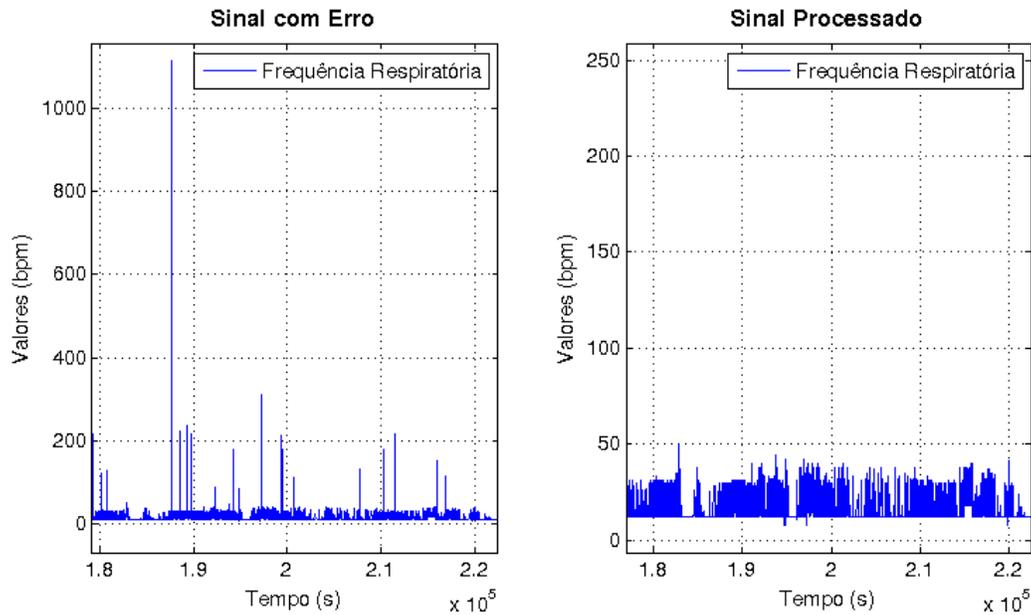
Os gráficos constantes na Figura 4-1, Figura 4-2, Figura 4-3 e Figura 4-4 demonstram o desempenho do sistema quanto à captura dos sinais. Conforme descrito na sessão de metodologia, o espaço amostral é de 126000 amostras e para que a ilustração dos erros obtidos nas leituras das variáveis possa ser realizada de forma mais eficiente, são feitos recortes dessas amostras para que o gráfico não fique distorcido e facilite a interpretação do mesmo. Sendo assim, para cada gráfico são apresentados os valores colhidos de forma bruta (sem processamento e com os erros de leitura) e ao lado, para o mesmo intervalo temporal, os valores dos sinais após o processamento para minimizar a interferência dos erros.



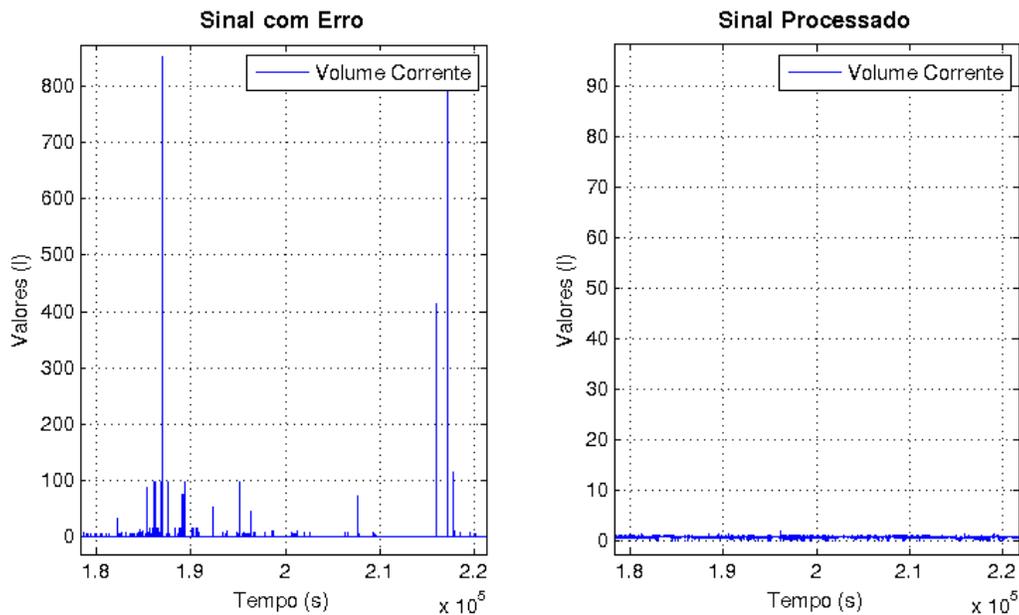
**Figura 4-1: Comparação entre valores do sinal processado e não processado para Fuga de Ar**



**Figura 4-2: Comparação entre valores do sinal processado e não processado para Fuga de Ar com visão ampliada**



**Figura 4-3: Comparação entre valores do sinal processado e não processado para Frequência Respiratória**



**Figura 4-4: Comparação entre valores do sinal processado e não processado para Volume Corrente**

No que se refere ao desempenho do algoritmo de visão computacional, os resultados obtidos podem ser vistos na Tabela 3. Neste caso, estes resultados consideram a análise dos cinco dias de monitoramento para cada paciente.

**Tabela 3: Desempenho do Algoritmo de Visão Computacional para reconhecimento de caracteres**

Variável	Acerto (%)	Erro (%)
Fuga de Ar	98,92	1,08
Frequência Respiratória	98,83	1,17
Volume Corrente	98,39	1,61
<b>Média</b>	<b>98,72</b>	<b>1,28</b>

#### 4.1.2. Geração de Alertas e Algoritmo Fuzzy

Os resultados da análise das mensagens de alerta gerados pela arquitetura, quanto à mensagem que deveria ser enviada, podem ser vistos na Tabela 4, nos quais foram obtidos um total de 329 mensagens. Dessas, 100 foram geradas por meio de emulação e 229 colhidas por meio de experimentos. A primeira coluna (Quantidade de Testes) apresenta a informação sobre a condição do paciente, em função do estado das variáveis analisadas conforme Tabela 2, e quantidade de testes para essa situação. Neste caso, foram criados 35 testes correspondentes à situação de condição “A”; 65 testes correspondentes à situação “B”; e 229 testes reais correspondentes à situação “D”. A mesma analogia é válida para as demais colunas onde são apresentadas a mensagem a ser enviada em função da situação identificada pelo avaliador ou sistema e a quantidade de vezes que aquela mensagem foi identificada por este. Um dos pontos observados para a geração dos alertas foi o instante de tempo em que o mesmo era enviado. Neste caso, os resultados gerados pelo sistema e a análise feita pela equipe de saúde não apresentou discordância.

**Tabela 4: Comparação das mensagens de alerta do sistema com os avaliadores**

Quantidade de Testes	Aval. 1	Aval. 2	Aval. 3	Sistema
A/35	msg1/35	msg1/35	msg1/35	msg1/35
B/65	msg2/65	msg2/63	msg2/65	msg2/65
D/229	msg1/229	msg1/231	msg1/229	msg1/229

## 4.2. Discussão

A arquitetura apresentada nesse trabalho envolve uma série de componentes que se comunicam entre si para permitir o monitoramento de pacientes com ELA. Dada a limitação do escopo do trabalho, a discussão dessa arquitetura será restrita aos

resultados obtidos com o algoritmo de visão computacional e a avaliação do algoritmo *fuzzy* de acordo com a geração das mensagens de alerta. Assim como na sessão de Resultados, as discussões sobre a arquitetura será dividida em duas análises:

- Visão Computacional e Detecção de Erros; e
- Geração de Alertas e Algoritmo *Fuzzy*.

#### 4.2.1. Visão Computacional e Detecção de Erros

A maior parte dos erros ocorridos na detecção de caracteres se deu, em geral, devido à captura de um quadro em que a imagem do valor a ser mostrado não havia sido formada por completo, ou seja, na transição de um número para outro. Nestes casos, o algoritmo de visão computacional gerava números de ordem dez vezes maior que os parâmetros normais, provocando um pico anormal nas leituras. Conforme pode ser observado na Tabela 3 o sistema apresentou uma média geral de acertos de 98,72%. Além disso, a variável que apresentou o pior desempenho teve uma taxa de acertos de 98,39%. As Figura 4-1, Figura 4-2, Figura 4-3 e Figura 4-4 apresentam o resultado das leituras dentro de uma amostra dos valores monitorados que estão compreendidos entre os instantes de tempo de  $1,8 \times 10^5$ s e  $2,2 \times 10^5$ s, o que corresponde a um total de aproximadamente 40000 amostras (aproximadamente onze horas de monitoramento). Essa abordagem tem por objetivo permitir a visualização mais clara sobre desempenho do sistema tendo como foco o destaque dos pontos em que o sistema identificou erros de leitura. Muito embora o sistema tenha apresentado um percentual de erros relativamente baixo, para que a percepção dos erros possa ser observada de forma mais clara limitamos a área de visualização do gráfico. Desta forma, a observação do erro em frações das amostras ilustra melhor o desempenho do sistema.

Alguns dos erros que foram identificados pelo sistema em relação à leitura das variáveis, muito embora representem menos de 2% do total de valores medidos, apresentaram valores de ordem de grandeza 100 vezes maior que a média dos valores medidos. A eliminação desse tipo de erro é fundamental para que a equipe

de saúde possa visualizar os gráficos de forma adequada. Além disso, é importante destacar que a identificação e amenização dos erros é importante para que não sejam geradas mensagens de alerta falsas. Nesse sentido, tão importante quanto não gerar mensagens de alertas falsas (falso positivo) é deixar enviar mensagens de alerta em condições reais de risco. Nesse aspecto, o sistema atuou de forma a detectar e corrigir erros tornando a visualização das variáveis monitoradas melhor para a equipe de saúde.

A variável Fuga de Ar é fundamental para o correto funcionamento do algoritmo *fuzzy*. As analogias feitas sobre a análise dessa variável é similar às interpretações que podem ser feitas nas outras duas, Frequência Respiratória e Volume Corrente. Por esta razão, a exploração da análise dos gráficos será feita tendo como base essa variável, entretanto, todos os resultados obtidos com o processamento de todas as variáveis serão apresentados.

Para que situações variadas de detecção e correção de erros possam ser apresentadas, os resultados obtidos pela variável Fuga de Ar são destacados em períodos de tempo distintos. Em um primeiro instante, foi escolhido um período de tempo de monitoramento que apresenta vários picos de medição de ordens de grandeza de dez a vinte vezes maiores que os reais valores medidos. Estes valores foram corrigidos pelo algoritmo de visão computacional conforme pode ser observado o gráfico na Figura 4-1 que ilustra os resultados obtidos sem o processamento dos erros e após a correção dos mesmos.

O gráfico na Figura 4-2 apresenta um conjunto de valores monitorados pelo sistema que ilustra a atuação do mesmo quando uma ocorrência verdadeira de Fuga Ar não é interpretada como um erro de medição. Nesta figura é possível observar que o sistema suprimiu o pico de erro em relação ao instante de tempo  $1.846 \times 10^5$ s e em torno de  $1.83 \times 10^5$ s (conforme marcação na Figura 4-2), porém não suprimiu os valores do espaço de tempo próximo ao instante de tempo de  $1.848 \times 10^5$ s que atingem o valor de 100l/min. Nesse intervalo de tempo, a VNI foi desacoplada da paciente pela própria equipe de saúde para realização de um procedimento de limpeza. Nesse caso, o sistema identificou que os valores que estavam sendo apresentados correspondiam de fato a uma situação real, ou seja, esses valores não

caracterizavam um erro de leitura e por isso não foram suprimidos. A mesma analogia pode ser aplicada ao caso em que o circuito ventilatório é desconectado do sistema por algum incidente ou em casos de mau encaixe da máscara que gerem fugas de ar. É importante destacar que a técnica para detecção e correção de erros está fortemente relacionada à precisão do sistema quanto à leitura dos caracteres e ao intervalo da janela. Quanto maior o tamanho da janela, maior a tolerância à erros caso o sistema seja muito oscilatório. Por outro lado, janelas muito pequenas podem fazer o sistema ficar muito sensível e aumentar a quantidade de falsos positivos.

Analogamente, o mesmo acontece para as outras variáveis analisadas conforme pode ser constatado nos gráficos das Figuras Figura 4-3 e Figura 4-4. Nessas duas figuras é possível observar que o algoritmo de correção de erros também atuou de forma a minimizar a ocorrência dos mesmos para a equipe de saúde.

#### *4.2.2. Geração de Alertas e Algoritmo Fuzzy*

Conforme pode ser observado na Tabela 4 o sistema não apresentou discordância das respostas fornecidas pela equipe de saúde como um todo e os resultados obtidos foram satisfatórios. Destaca-se que o sistema concordou em 100% dos casos observados tanto no que se refere à mensagem a ser gerada quanto ao instante de tempo da mesma. A interpretação da Tabela 4 é feita da seguinte forma:

- A primeira coluna apresenta o quantitativo de condições a que os pacientes foram submetidos (reais e emuladas) ao longo do processo de monitoração dos pacientes. Nesse caso foram observadas 35 condições do tipo A, 65 do tipo B e 229 do tipo D. Para cada condição existe uma mensagem correspondente, conforme Tabela 2;
- As demais colunas apresentam o quantitativo de mensagens apontado por cada avaliador e pelo sistema.

O Avaliador 2 identificou duas condições a mais para o tipo D e duas a menos para o tipo B. Todavia, ambas condições indicam que deve ser encaminhada a

mensagem de alerta "msg2". A justificativa apontada para a discordância do avaliador 2 em relação aos demais reside no fato deste não ter observado com cautela os instantes de tempo para a variável SpO<sub>2</sub>.

Essa eficiência do sistema comprova a validade do algoritmo de geração de alertas, porém, cabe destacar que a eficiência do mesmo é dependente da leitura correta, ou correção, dos valores monitorados. Neste caso, cabe efetuar uma avaliação mais exaustiva do sistema de visão computacional e da utilização de oxímetros de pulso mais exatos e precisos. Porém, a obtenção da informação por meio de visão computacional foi uma alternativa utilizada para o caso que o sistema não permitia o envio da informação de forma *online*, situação evidenciada nos testes dos ventiladores utilizados pela equipe de saúde do HUOL. Caso o ventilador mecânico possa enviar essas informações de forma *online* por meio de algum protocolo de comunicação o componente da arquitetura do sistema referente à visão computacional pode ser substituído, haja vista que o dado será enviado de forma direta através da rede que interliga os módulos da arquitetura de monitoramento.

### **4.3. Considerações**

Toda essa Sessão é dedicada à apresentação dos resultados obtidos pela arquitetura de monitoramento e discussão dos mesmos, os quais já foram realizados. Nesse sentido, foi feita uma análise do comportamento da arquitetura diante de situações reais de monitoramento, e, aquelas que não foram possíveis de ser obtidas a partir desse monitoramento, foram geradas de forma aleatória, mas obedecendo aos critérios limites para que a situação fosse criada. Dessa forma, foi possível avaliar a arquitetura de monitoramento em função de todos os estados possíveis para o qual o sistema pudesse ser levado. Além disso, os resultados dos testes evidenciaram um comportamento satisfatório da arquitetura frente às situações propostas pela equipe de saúde.

---

## Sessão 5



---

### 5. Conclusões

Nesta Sessão é apresentada a avaliação final sobre os resultados obtidos com este trabalho de Dissertação, bem como futuros trabalhos de pesquisa que podem ser gerados e continuados a partir deste. Apresentaremos também as consequências resultantes da implementação e emprego desta metodologia de desenvolvimento de sistemas tolerantes a falha.

#### 5.1. Considerações Finais: Arquitetura

Considerando o escopo do sistema, observamos que o mesmo apresentou um comportamento satisfatório em condições reais e de simulação para a geração dos alertas tendo êxito de 100% quanto aos instantes de tempo em que as mensagens deveriam ser enviadas aos cuidadores. Não obstante, a arquitetura do sistema também demonstrou ter um algoritmo eficaz quanto à geração da mensagem de alerta correta. A geração dessas mensagens para o cuidador é importante para a eficiência de ventilação mecânica dos pacientes. Nesse caso, as verificações do sistema tomaram com referência os valores das fugas de ar e SpO<sub>2</sub>.

No que se refere ao componente de visão computacional, o sistema apresentou uma taxa média de acertos no reconhecimento OCR de 98,72%. Todavia, é preciso testar o sistema de forma mais exaustiva para que possa ser verificada com maior precisão a eficácia do mesmo a fim de melhorar a taxa de acertos. Porém, no que se refere aos erros ocasionados pelas leituras durante os testes de avaliação, estes foram possíveis de ser mitigados através do algoritmo de detecção e correção de erros.

#### 5.2. Considerações Finais: Equipe de saúde

A arquitetura apresentada permitiu que a equipe de saúde tivesse um melhor acompanhamento do processo de ventilação dos pacientes. Tanto quanto à

qualidade da ventilação, que interfere diretamente na qualidade de vida do paciente, quanto ao tempo de utilização do ventilador mecânico. Esses dois pontos são responsáveis por adiar um processo mais traumático no que se refere à ventilação mecânica desses pacientes que é a ventilação invasiva.

O monitoramento constante do paciente ao longo do processo ventilatório fornece os subsídios necessários para que a equipe de saúde possa traçar as melhores estratégias e tratamentos com foco na melhoria da qualidade da ventilação não invasiva. Além disso, como o sistema gera mensagens de alerta aos cuidadores, em situações em que o paciente seja levado para uma situação ventilação inadequada que não seja percebida pelo cuidador, o mesmo será alertado conseqüentemente poderá acionar a equipe de saúde para apoio e suporte remoto.

Outra vantagem proporcionada pelo sistema de monitoramento web é possibilidade que a equipe de saúde tem de observar de forma detalhada e comparativa o comportamento das diversas variáveis monitoradas. Isso permite a identificação de situações-problemas visualmente de forma mais rápida e possibilita uma visão mais ampla sobre como adequar o tratamento às condições de cada paciente, bem como poder orientar melhor os cuidadores sobre os aspectos que estejam gerando maiores danos na ventilação do paciente. Por exemplo, caso estejam ocorrendo muitas situações de fuga de ar é prudente verificar o que pode estar recorrentemente provocando essa fuga, que pode ser inclusive algum movimento que o paciente faça durante o sono ou algum familiar que seja muito sensível esteja sempre abraçando o paciente.

### **5.3. Considerações Finais: Paciente**

A adoção de arquitetura de sistemas distribuídos como o apresentado nesta tese é de fundamental importância para a qualidade de vida dos pacientes, proporcionando um maior conforto e permitindo que os mesmos possam ficar próximos aos seus parentes por mais tempo. Nesse sentido, o aspecto da qualidade de vida mental desses pacientes é fator preponderante e que deve ser observado em qualquer tratamento a ser realizado. Alguns pacientes são relutantes quanto ao internamento em unidades hospitalares se sentem mais confortáveis quando ficam

no ambiente domiciliar. Assim, a manutenção desse paciente em ambiente domiciliar também propicia um maior conforto psicológico para os familiares e pessoas mais próximas do paciente que acompanham toda a evolução da doença. Existem situações em que estes necessitam de apoio psicológico especializado, pois alguns são levados a quadros de depressão decorrente do avanço da doença.

#### **5.4. Considerações Finais: Gestores e Deslocamentos**

Deslocamentos desnecessários influenciam diretamente os indicadores relacionados à segurança e qualidade de vida do paciente. A medida que o paciente tem que se deslocar de casa para ser avaliado no hospital de referência os riscos envolvidos nesse processo são aumentados. Como em geral esses pacientes residem em outros municípios, a probabilidade de ocorrer um acidente de trânsito nesse deslocamento é aumentada, bem como, é comprometida a capacidade respiratória do paciente ao longo do percurso.

O SUS é o principal provedor de serviços e cuidados de saúde para a população brasileira, tendo sua responsabilidade financeira dividida entre as três esferas de governo: federal, estadual e municipal. Sendo o município o elo mais fraco nessa cadeia, qualquer mitigação de gastos desnecessários podem ser revertidos em melhorias da qualidade dos serviços saúde prestados, como por exemplo a compra de medicamentos. Além disso, a utilização de recursos de ambulância, motorista, combustível e diárias para as equipes de saúde e motoristas podem ser utilizadas para situações de urgência e emergência em que o deslocamento é inevitável.

#### **5.5. Trabalhos Futuros**

É importante constatar que ainda existem pesquisas a serem desenvolvidas para aumentar a confiabilidade da arquitetura distribuída aqui apresentada em questões que envolvem a segurança do sistema (*safety*). Muito embora este não tenha sido o escopo da pesquisa foram desenvolvidos alguns mecanismos que atentam para essas questões tais como: autenticação de usuários; plataforma web

com múltiplos perfis de usuário; e utilização de protocolos de transmissão de dados com criptografia. No entanto, estudos sobre protocolos de comunicação que identifiquem que o sistema está desligado ou que tenha parado de funcionar, as quais não foram abordadas nesse trabalho, mas que podem ser objeto de investigação em um trabalho futuro. Outro estudo futuro é a aplicação de técnicas de tolerância à falha que podem aumentar a robustez do mesmo quanto aos aspectos de dependabilidade.

---

# Referências Bibliográficas



---

## Bibliografia

---

ABRELA (2012), Manual sobre a Esclerose Lateral Amiotrófica; ABRELA Associação Brasileira de Esclerose Lateral Amiotrófica. Acessado em: 18 de jul de 2012. Disponível em: [http://www.abrela.org.br/PDF/livreto\\_2010.pdf](http://www.abrela.org.br/PDF/livreto_2010.pdf).

Abussouan LS, Khan SU, Meeker DP, Stelmach K, Mitsumoto H. Effect of non-invasive positive pressure ventilation on survival in amyotrophic lateral sclerosis. *Ann Intern Med* 1997. 1997;127:450–3.

Araújo B, Valentim RAM, Lacerda JMT, Carvalho DR, Dantas MCR, Diniz Júnior J. Modelo arquitetural para geração de alertas aplicado ao monitoramento de pacientes em ambiente hospitalar. *Revista Brasileira de Engenharia Biomédica*. 2012; 28(2):169-178.

Baga D, Fotiadis DI, Konitsiotis S, Tsouli S, Diakou M, Arrendondo MT, *et al.* PERFORM: A platform for monitoring and management of chronic neurodegenerative diseases: The Parkinson and Amyotrophic Lateral Sclerosis case. 4th International IEEE/EMBS Conference on Neural Engineering. 2009; 1-5.

Brasil (2008). Portaria nº 370, de 4 de julho de 2008 da Secretaria de Atenção à Saúde/Ministério da Saúde. Acessado em: 20 de ago de 2012. Disponível em: [http://bvsmis.saude.gov.br/bvs/saudelegis/sas/2008/prt0370\\_04\\_07\\_2008.html](http://bvsmis.saude.gov.br/bvs/saudelegis/sas/2008/prt0370_04_07_2008.html)

Breas. Vivo 40 with Target Volume. Acessado em 13 de jul 2012, Disponível em: [http://www.breas.com/breas\\_templates/Page771.aspx](http://www.breas.com/breas_templates/Page771.aspx). 2012.

Brooks BR, Miller RG, Awash M, Munsat T. World federation of neurology research group on motor diseases. el escorial revisited: revised criteria for the diagnosis of

amyotrophic lateral sclerosis. *Amyotroph Lateral Scler Other Motor Neuron Disord.* 2000; 1(5):293-9.

Bustamante P, Grandez K, Solas G, Arrizabalaga S. A Low-Cost Platform for Testing Activities in Parkinson and ALS Patients. 12th IEEE International Conference on e-Health Networking Applications and Services (Healthcom). 2010; 302-307.

Carefusion. LTV 1200 Series Ventilator. Acessado em 13 de jul 2012, Disponível em: <http://www.carefusion.com/medical-products/respiratory/ventilation/ltv-series/ltv-1200.aspx>. 2012.

Carvalho ST, Copetti A, Loques Filho OG. Sistema de computação ubíqua na assistência domiciliar à saúde. *Journal Of Health Informatics.* 2011; 3(2):51-57.

Chancellor, A M. Adult onset motor neuron disease: worldwide mortality, incidence and distribution since 1950. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry.* 1992; 55(12):1106–15.

Chiò A, Calvo A, Moglia C, Gamma F, Mattei A, Mazzini L, et al. PARALS: Non-invasive ventilation in amyotrophic lateral sclerosis: a 10 year population based study. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 2012; 83(4):377-381.

Coco GL, Coco DL, Cicero V, Oliveira A, Verso GL, Piccoli F, *et al.* Individual and health-related quality of life assessment in amyotrophic lateral sclerosis patients and their caregivers. *Journal of the Neurological Sciences.* 2005; 238:11-17.

Cronin S, Hardiman O, Traynor BJ. Ethnic variation in the incidence of als: a systematic review. *Journal of Neurology.* 2007; 68(13):1002–7.

Dawson-Howe K. *A Practical Introduction to Computer Vision with OpenCV.* 1º ed. Wiley: West Sussex; 2014.

Dijemeni E, Roberts D. Desktop Based Real Time Oxygen AutoVentilation and Gas Monitoring System For Homecare Respiratory Application. International Conference

on Applied Electronics (AE), 2014; 67-70, doi: <http://dx.doi.org/10.1109/AE.2014.7011670>

Freitas LO, Librelotto GR, Pereira HGG, Kasper J, Martini RG, Mozzaquatro B, Pereira RT. Applying pervasive computing in an architecture for *homecare* environments. 9th International Conference on Ubiquitous Intelligence and Computing. 2012; 185-192.

Gonzalez-Bermejo J, Morelot-Panzini C, Arnol N, Meininger V, Kraoua S, Salachas F, et al. Prognostic value of efficiently correcting nocturnal desaturations after one month of non-invasive ventilation in amyotrophic lateral sclerosis: A retrospective monocentre observational cohort study. 2013; 14(5-6):373-379. doi: <http://dx.doi.org/10.3109/21678421.2013.776086>.

Ha Y, Byun Y. A Ubiquitous Homecare Service System Using a Wearable User Interface Device. 11th International Conference on Computer and Information Science. 2012; 649-650.

Hayashi H, Oppenheimer EA. Als patients on tppv: totally locked-in state, neurologic findings and ethical implications. *Journal of Neurology*. 2003; 61(1):135–7.

Kaneyasu F, Akiyama M. System Requirements for an Electronic Health Record System Using Smartphones for Homecare. *Proceedings of PICMET '12: Technology Management for Emerging Technologies*. 2012; 3059-3066.

Kang B, Park S, Lee T, Park S. IoT-based Monitoring System using Tri-level Context Making Model for Smart Home Services. *IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, 2015; 198 – 199. doi: <http://dx.doi.org/10.1109/ICCE.2015.7066379>.

Kasper DL, Fauci AS, Longo DL, Braunwald E, Hauser S, Jameson H. Esclerose lateral amiotrófica e outras doenças do neurônio motor. Em: Robert H, Brown J. (editores.) *Medicina Interna*, 16º ed., pp. 2544-8. McGraw-Hill, Rio de Janeiro (2006).

Kelly BJ, Lucce JM. The diagnosis and management of the neuromuscular diseases causing respiratory failure. *Chest*. 1991; 99:1485-94.

Lee C. A Home Care Service Platform For Mobile Healthcare. Proceedings of the 2012 International Conference on Machine Learning and Cybernetics. 2012; 1927-1930.

Madani K, Lohi M, Lohi A. A Decision Support Service Platform for Neurodegenerative Disease Patients. 6th International Conference on Networking and Services (ICNS). 2010; 188-191.

Mamdani EH & Assilian S. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International journal of man-machine studies*. 1975; 7(1): 1-13.

Mamdani EH. Advances in the linguistic synthesis of fuzzy controllers. *International Journal of Man-Machine Studies*. 1976; 8(6): 669-678.

Menezes Junior JV, D'Castro RJ, Rodrigues FMM, Gusmão CMG, Lyra NRS, Sarinho SW. InteliMed: uma experiência de desenvolvimento de sistema móvel de suporte ao diagnóstico médico. *Revista Brasileira de Computação Aplicada*. 2011; 3(1):30-42.

Marengoni M & Stringhini D. (2009). Tutorial - Introdução a Visão Computacional usando OpenCV. *Revista de Informática Teórica e Aplicada - RITA*. 2009; 16(1): 125-160.

Marques Filho O & Vieira Neto H. *Processamento Digital de Imagens*. ISBN 8574520098, 1ª ed. Rio de Janeiro: Brasport; 1999.

Naeemabadi M, Zabihi M, Ordoubadi BS, Saleh MA, Khalilzadeh MA, Ordoubadi MS. Tele-homecare System Design for elderly. 5th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT). 2011; 1-5.

Nguyen QT, Pastor D, Lellouche F, L'Her E. Mechanical ventilation system monitoring: automatic detection of dynamic hyperinflation and asynchrony. 35th

Annual International Conference of the IEEE EMBS, 2013; 5207-5210. doi: <http://dx.doi.org/10.1109/EMBC.2013.6610722>.

Orsini M, Mello M, Lisieux D, Pássaro CP, Leite MAA, Baldez AC, *et al.* Qualidade de Vida de Cuidadores e Pacientes com Diagnóstico de Esclerose Lateral Amiotrófica. *Revista de Neurociência*. 2012; 20(2):215-221.

Philips. Sistema de Suporte Ventilatório BiPAP Synchrony. Acessado em 13 de jul 2012, Disponível em: <http://www.healthcare.philips.com/br-pt/homehealth/respiratory-care/bipapsynchrony/default.wpd>. 2012

Presto B, Orsini M, Presto LDN, Calheiros M, Freitas MRG, Mello MP, *et al.* Ventilação não invasiva e fisioterapia respiratória para pacientes com esclerose lateral amiotrófica. *Rev Neurocienc*. 2009; 17(3):1293-7.

Ragin CC. *Fuzzy-set social science*. University of Chicago Press, 2000.

Ribeiro AGCD, Maitelli AL, Valentim RAM, Brandão GB, Guerreiro AMG. AngelCare Mobile System: Homecare patient monitoring using Bluetooth and GPRS. 32nd Annual International Conference of the IEEE EMBS. 2010; 2200-2203.

Rosenfeld A. Fuzzy groups. *Journal of mathematical analysis and applications*. 1971; 35(3): 512-517.

Smith R. An overview of the tesseract ocr engine. In: *Proc. Ninth Int. Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR)*. 2007; 629-633.

Valentim RAM, Araújo BG, Lacerda JMT, Souza PCO, Carvalho TPM. Automação Hospitalar: O Estado da Arte. *Revista Brasileira de Inovação Tecnológica em Saúde*. 2012; 1(1):27-38.

Zadeh LA. A fuzzy-set-theoretic interpretation of linguistic hedges. 1972; 2(3): 4-34.

Zadeh LA. Fuzzy sets. *Information and control*. 1965; 8(3): 338-353.

Zhou F, Jiao J, Chen S, Zhang D. A Case-Driven Ambient Intelligence System for Elderly in-Home Assistance Applications. *IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetics—Part C: Applications And Reviews*. 2011; 41(2):179-189.

Zimmermann HJ. *Fuzzy set theory - and its applications*. 4<sup>a</sup> ed. Springer Science & Business Media; 2001.

---

# Anexos



---

## Anexo 1

### Questionário 1

- 1) Quais as informações (variáveis) que são observadas no conjunto de equipamentos que monitoram o paciente?
- 2) Quais os conceitos (alto, baixo ou normal) que podem ser atribuídos aos valores dessas informações?
  - a) No caso de variáveis que assumem somente dois valores, especificar. Por exemplo: baixo e normal, ou normal e alto.
- 3) Quais as faixas de valores que determinam a condição baixa, normal ou alta para cada uma dessas variáveis?
- 4) Qual o tempo limite que deve ser levado em consideração para que a mudança de valor de uma variável acione o disparo do alerta?
  - a) Esse tempo muda de acordo com a variável analisada?

## Questionário 2

1) Diante dos valores que podem ser assumidos pelas variáveis analisadas por você, qual a melhor mensagem a ser enviada para o cuidador? Avalie as situações em função da tabela abaixo.

Estado do Paciente			Mensagem para o cuidador
Condição	SpO <sub>2</sub>	Fuga de Ar	
A	Baixo	Normal	
B	Baixo	Alta	
C	Normal	Normal	
D	Normal	Alta	