Tecnologias aplicadas à saúde

Tecnologias aplicadas à saúde

Série Ticase em debate

Tereza Kelly Gomes Carneiro
Jocelma Almeida Rios
Claudio Reynaldo Barbosa de Souza
Organizadores

Editora do Instituto Federal da Bahia — Edifba
2016

Tecnologias aplicadas à saúde

Copyright© 2016

Tereza Kelly Gomes Carneiro
Jocelma Almeida Rios
Claudio Reynaldo Barbosa de Souza
Organizadores

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação de direitos autorais (Lei n° 9.619/98).

Capa: **Lenio Costa Pinto**
Revisão: **Claudio Reynaldo**

Ficha catalográfica elaborada pela
Biblioteca Prof. Raul Varella Seixas / IFBA – Campus de Salvador.

T255 Tecnologias aplicadas à saúde/ Organização de Tereza Kelly Gomes Carneiro, Jocelma Almeida Rios, Claudio Reynaldo Barbosa de Souza. – Salvador: Edifba, 2016.

276p. – (Série Ticase em debate)

ISBN: 978-85-67562-09-4

1. Saúde (Tecnologias). 2. Equipamentos hospitalares. 3. Tecnologia assistiva. I. Carneiro, Tereza Kelly Gomes. II. Rios, Jocelma Almeida. III. Souza, Claudio Reynaldo Barbosa de. IV. Título.

CDU: 615.47

Sumário

Apresentação 9

Prefácio 13

Capítulo I

EQUIPAMENTOS MÉDICOS DE BAIXO CUSTO COM ARDUINO 17
Joserland Souza Santos
Anne Caroline Santos
Roberto Luiz Souza Monteiro

Capítulo II

EQUIPAMENTOS SINAIS E SENSORES MIOELÉTRICOS 27
Leandro Brito Santos
Alberto Monteiro Peixoto
Roberto Luiz Souza Monteiro
Tereza Kelly Gomes Carneiro

Capítulo III

TECNOLOGIA ASSISTIVA PARA ACESSIBILIDADE: PROTÓTIPO DE BENGALA AUTOMATIZADA PARA DETECÇÃO DE OBSTÁCULOS 47
Justino de Araújo Medeiros
Andrea Cassia Peixoto Bitencourt

Capítulo IV

AVALIAÇÃO DA TECNOLOGIA APLICADA À SAÚDE EM SISTEMAS DE AR MEDICINAL E VÁCUO **65**
Claudio Reynaldo Barbosa de Souza
Hugo Antonio Nunes Silva
Betina Soares Batalha

Capítulo V

TEORIA DAS REDES PARA ESTUDOS NA ÁREA DE SAÚDE **89**
Hernane Borges de Barros Pereira
Carlos César Ribeiro Santos
Marcelo do Vale Cunha
Claudia Ribeiro Santos Lopes

Capítulo VI

DIFUSÃO DO CONHECIMENTO, TECNOLOGIA E FORMAÇÃO: TEORIA DE REDES E APLICAÇÕES **115**
Tereza Kelly Gomes Carneiro
Renata Souza Freitas Dantas Barreto
Hernane Borges de Barros Pereira

Capítulo VII

DECOMPOSIÇÃO DE SINAIS PARA DETECÇÃO DE EPILEPSIA **145**
Carlos Alberto Orge Pinheiro
Valter de Senna

Capítulo VIII

ESTUDO COMPARATIVO DE MÉTODOS DE SEGMENTAÇÃO EM IMAGENS DE RAIO-X PARANORÂMICO DOS DENTES **165**
Gil Jader Oliveira da Silva
Valter de Senna
Luciano Rebouças de Oliveira

Capítulo IX

MONITORAMENTO REMOTO E NÃO-INTRUSIVO DE IDOSOS **183**
Márcio Soussa
Valter de Senna
Valéria L. da Silva
Charles Soares

Capítulo X

USO DE APRENDIZAGEM PROFUNDA EM DETECÇÃO AUTOMÁTICA DE RETINOPATIA DIABÉTICA **201**
Navjot Kukreja
Valter de Senna

Capítulo XI

RADIOLOGIA DIGITAL: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS E ASPECTOS DE CONTROLE DE QUALIDADE NA LEGISLAÇÃO NACIONAL **225**
Wilson Otto G. Batista

Dos autores

Sobre o TICASE

APRESENTAÇÃO

Este livro, na forma de coletânea, inicia a Série Ticase em Debate. Esta série terá como objetivo o embasamento dos estudos e pesquisas acerca das tecnologias aplicadas à saúde. Trata-se de uma discussão importante não apenas no âmbito do grupo de pesquisa Tecnologia e Tecnologias da Informação e Comunicação aplicadas à saúde e educação (Ticase), mas de todas as instituições de ensino, com olhar específico direcionado à educação e à saúde.

A cada publicação da Série, serão apresentados artigos resultados dos debates transcorridos em eventos organizados pelo grupo de pesquisa Ticase e de interações entre os integrantes do grupo e outros pesquisadores. A edição atual apresenta as reflexões que vivenciamos no grupo de estudo ao longo do ano de 2015 e tem como objetivo maior difundir pesquisas multidisciplinares envolvendo e servindo a área de saúde, respondendo a algumas demandas urgentes no campo científico e da indústria.

Ao todo, são onze capítulos que discutem o uso de tecnologias como mecanismo de contribuição e avança aos estudos na área de saúde. Todos os artigos aqui apresentados foram produzidos exclusivamente por seus autores. Não coube aos organizadores nenhuma responsabilidade quanto aos conteúdos e fontes de pesquisa, o que entendemos, é respeito aos trabalhos desenvolvidos e confiança nas produções encaminhadas para a produção deste livro por parte dos autores.

O primeiro capítulo apresenta como o uso do Arduino pode reduzir custos médicos com a utilização de aparelhos médicos desenvolvidos nesse tipo de plataforma.

Um elaborado *review* sobre princípio de funcionamento dos sinais mioelétricos, as técnicas utilizadas para obtenção e suas possíveis aplicações são importantes contribuições trazidas no segundo capítulo no estudo sobre sinais miolétricos.

Um importante exemplo de estudo de tecnologia assistiva é apresentado no capítulo três, em que se apresenta uma bengala desenvolvida com inovações em termos mecânicos, de sensoriamento e controle, e se apresenta como uma importante ferramenta tecnologia para auxiliar deficientes visuais.

O capítulo quatro apresenta um estudo sobre sistemas de ar medicinal e vácuo utilizados nos estabelecimentos assistenciais de saúde, destacando a criticidade e confiabilidade destes componentes para garantia da segurança e eficiência de tratamentos e cuidados aos pacientes em unidades hospitalares.

Como exposto anteriormente, a Série Ticase em Debate, estimulará a articulação entre pesquisadores do grupo e outros grupos de pesquisa. Nesta primeira edição, convidamos o grupo de pesquisa Fuxicos & Boatos, que também é composto por pesquisadores do Ticase, e estuda redes sociais e complexas, para apresentar os estudos que eles estão desenvolvendo na área da saúde com o uso da teoria de redes sociais e complexas. Os resultados estão apresentados no capítulo cinco.

O capítulo seis não se relaciona diretamente com o tema da saúde, como os demais, mas por ser uma produção entre pesquisadores do Ticase e do Fuxicos e Boatos; por também apresentar estudos com aplicação da Teoria de Redes Sociais; e por ser o Ticase um grupo de pesquisa que se volta à educação e à saúde, consideramos pertinente a inserção do texto "Difusão do conhecimento, tecnologia e formação: teoria de redes e aplicações".

Uma relevante discussão sobre a detecção automática da epilepsia e os desafios para construção de algoritmos que auxiliem no diagnóstico desta doença que atinge 2% da população mundial é apresentada no capítulo sete.

No oitavo capítulo é apresentada uma contribuição à medicina dentária, ao realizar um estudo comparativo de métodos de segmentação de imagens, utilizando as métricas: *Accuracy*, *Specificity*, *Precision*,

Recall e *F-score*, para verificar qual dos métodos consegue melhor dividir as imagens de raio-X panorâmico em suas unidades significativas (dentes) e suas implicações para tratamentos dentários.

No capítulo nove, os autores propõem um modelo computacional capaz de aprender alguns comportamentos rotineiros de um idoso que mora em um domicílio unipessoal e também identificar situações consideradas de risco para a sua saúde, através de dados coletados exclusivamente por sensores de ambiente. Trata-se um trabalho que será subsídio para novos trabalhos relacionados com a área de monitoramento e reconhecimento de padrões de idosos que vivem sozinhos e que tenham como propósito contribuir para a melhoria da qualidade de vida das pessoas idosas.

O capítulo dez apresenta uma técnica de estudo baseada em redes neurais, para diagnóstico automático de retinopatia diabética, uma doença que afeta 93 milhões de pessoas no mundo.

O último capítulo deste primeiro livro da Série Ticase em Debate aborda as tecnologias que envolvem a radiologia digital. O autor compara o estado atual da tecnologia já estabelecida na radiologia brasileira e compara os requisitos de controle de qualidade nacionais e internacionais. Ainda, ele faz um comparativo entre os requisitos constantes nos documentos do Acordo Regional de Cooperação para a Promoção da Ciência e Tecnologia Nucleares na América Latina e Caribe — Projeto ARCAL e da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) com aqueles exigidos em portarias da Secretaria de Vigilância Sanitária (SVS), do Ministério da Saúde (MS).

Tereza Kelly Gomes Carneiro
Jocelma Almeida Rios
Claudio Reynaldo Barbosa de Souza
Organizadores

PREFÁCIO

Os debates sobre educação e saúde consistem em momentos profícuos a partir dos quais ações relevantes podem ser realizadas (e.g. investimentos no desenvolvimento de produtos e serviços) para ajudar pessoas a melhorarem sua qualidade de vida. Quando tais discussões são canalizadas para a produção de textos científicos e de divulgação, o conhecimento criado e organizado na forma de artigos, capítulos de livros, livros etc. torna-se de acesso ampliado, fundamentando e apoiando tomadas decisões em prol de ações que beneficiem a população em geral. É nesse contexto, que se encontram os onze capítulos que compõem esta coletânea. Observemos, a seguir, a nuvem de palavras formada pelos títulos e resumos dos capítulos deste livro.

As palavras mais destacadas pelas frequências de suas ocorrências (e.g. “saúde”, “redes”, “teoria”, “tecnologia”, “detecção”, “conhecimento”, “sistemas”, “análise” e “imagens”) oferecem-nos uma ideia apropriada do que os autores chamam à baila, de modo a promover discussões sobre a convergência entre tecnologia, educação e saúde, escopo deste livro.

Apesar do escopo supracitado, esta obra traz fundamentalmente pesquisas relacionadas à área da saúde. Especificamente, ao lermos todos os capítulos, percebemos que a palavra "tecnologia" (que compõe o nome do evento Ticase onde os debates ocorreram, assim como o deste livro) conecta de forma intuitiva duas outras palavras que, ao meu ver, sintetizam os capítulos: equipamentos e modelos matemáticos e computacionais.

Nesse sentido, as propostas apresentadas aqui estão associadas a pesquisas que visam (i) analisar equipamentos usados na área da saúde (e.g. processadores, sensores, protótipos, etc.), (ii) avaliar a confiabilidade de sistemas e equipamentos de ar medicinal e vácuo e (iii) aplicar modelos matemáticos e computacionais (e.g. teoria de redes, mineração de dados, análise de séries temporais, etc.) à análise de discursos e de representações sociais de indivíduos, ao estudo de meios para compor grupos de indivíduos com afinidades para resolver problemas, à melhoria de procedimentos de exames (e.g. detecção automática de epilepsia, segmentação de imagens de raio x, detecção automática de retinopatia diabética, etc.), assim como ao monitoramento remoto e de forma não intrusivo de moradias unipessoais.

Ademais, podemos perceber que às diversas pesquisas apresentadas acompanham propostas de inovações tecnológicas sejam do ponto de vista do produto, processo e/ou serviço.

É razoável afirmar que o público alvo potencialmente beneficiário das ideias, análises, modelos e protótipos descritos nos capítulos deste primeiro volume da **Série Ticase em Debate** é composto por pessoas carentes ou de baixa renda, deficientes visuais, idosos, pacientes internados em hospitais, pessoas que sofrem de epilepsia e diabéticos. De modo ampliado, pessoas em geral e profissionais da área da saúde também podem tirar proveito do que este volume traz.

Parabenizamos o esforço do grupo de pesquisa Tecnologias da Informação e Comunicação aplicadas à saúde e educação e de todas

as instituições de ensino e pesquisa (i.e. UNCISAL, IFBA, SENAI CIMATEC) que participaram desta iniciativa.

Esperamos que a leitura seja proveitosa.

Salvador, 25 de março de 2016.

Hernane Borges de Barros Pereira

Capítulo I

EQUIPAMENTOS MÉDICOS DE BAIXO CUSTO COM ARDUINO

Joserland Souza Santos
Anne Caroline Santos
Roberto Luiz Souza Monteiro

EQUIPAMENTOS MÉDICOS DE BAIXO CUSTO COM ARDUINO

Neste estudo, apresenta-se uma abordagem básica do funcionamento de alguns equipamentos médicos (oxímetros, eletrocardiógrafo e eletroencefalógrafo) e como os mesmos podem ser replicados nos conceitos da plataforma Arduino, com o objetivo de possibilitar a redução de custos dos equipamentos através de plataformas open source. Isso proporciona um equipamento de baixo custo que pode ser utilizado em populações carentes que não tem condições de se beneficiar dessas tecnologias. Para tanto, foi realizada uma revisão bibliográfica com a intenção de aprofundar os conhecimentos sobre cada um dos aparelhos estudados.

INTRODUÇÃO

O Arduino é uma plataforma de prototipagem de *hardware* e *software open-source*, de fácil utilização, que foi desenvolvida para atender o público estudante, pessoas com pouco conhecimento em eletrônica ou programação. Na plataforma Arduino, podemos conectar diversos sensores e atuadores e rapidamente desenvolvermos protótipos de produtos eletrônicos interativos. (MCROBERTS, 2011).

Essa plataforma tem a capacidade de integrar várias tecnologias a um custo baixo comparado às demais plataformas do mercado. Dentre essas tecnologias, temos os equipamentos médicos que podem ser desenvolvidos facilmente através da plataforma Arduino (neste artigo são apresentados o oxímetro de pulso, eletrocardiógrafo e o eletroencefalógrafo), bastando para isso que se respeitem os padrões elétricos para conversão dos sinais para o controlador do Arduino e se desenvolva o código fonte baseado nos parâmetros e funcionalidades encontrados na literatura dos equipamentos que se pretende desenvolver, neste caso o oxímetro de pulso, o eletrocardiógrafo e o eletroencefalógrafo.

O oxímetro de pulso é um dispositivo médico não invasivo muito utilizado para medir a saturação do sangue, através da quantidade de absorção de oxiemoglobina e deoxemoglobina. Segundo Nunes e Terzi (1999), trata-se basicamente da emissão de luz vermelha e infravermelha através de um LED (Diodo Emissor de Luz) em partes translúcidas do corpo. A partir da intensidade da luz que atravessa o corpo do individuo pode-se determinar a quantidade de oxigênio no sangue assim como a frequência cardíaca.

O eletrocardiógrafo tem como objetivo examinar o músculo cardíaco e as válvulas do coração, através da medição da diferença de potencial entre um eletrodo conectado no tórax do paciente e um potencial de referencial. Essa diferença de potencial reflete na atividade do músculo cardíaco (ERTOLA; WHALEN, 2015). Através do eletrocardiógrafo é possível fazer o eletrocardiograma, que é um exame onde se efetua a leitura elétrica do comportamento do músculo cardíaco. O resultado da leitura é apresentado em um gráfico para que sejam analisados padrões do comportamento muscular. O eletroencefalógrafo é um aparelho capaz de registrar a atividade cerebral através da medição de sinais elétricos provenientes do cérebro do paciente através de conectores inseridos na superfície do couro cabeludo. Esse sinal é de baixa amplitude, por isso é amplificado passa para o segundo estágio onde é filtrado para a retirada de ruídos do sinal analógico, ajustado seu ganho de *offset* modificável através de potenciômetros disponíveis no equipamento e, por fim, é enviado para o microcontrolador, onde o sinal é processado e enviado para dispositivos de visualização que pode ser uma impressora ou um monitor de vídeo (MAGAGNIN JÚNIOR, 2013).

PLATAFORMA ARDUINO

A plataforma Arduino foi desenvolvida na cidade de Ivrea, na Itália, no ano de 2005, com o objetivo de ser uma ferramenta fácil de programar e prototipar, destinado a pessoas com pouco conhecimento em eletrônica e programação e com custo baixo em relação as demais plataformas disponíveis no mercado.

Basicamente, o Arduino consiste em um microcontrolador acoplado em uma placa eletrônica que faz a interface entre as entradas e saídas para o mundo externo. Com isso é possível ativar um motor, ler um sinal elétrico proveniente de sensores, tratar os dados provenientes do mesmo e exibi-los por diversas interfaces de saída (ARDUINO, 2015).

O *hardware* é composto de um processador Atmel AVR A placa é composta por pinos de entradas e saídas que conectam o microcontrolador ao mundo externo em um padrão de tensão de cinco volts. O software de programação utiliza uma linguagem de programação Arduino baseada na linguagem de programação Wring, e o seu ambiente de desenvolvimento é baseado no ambiente Processing. Há uma diversidade de placas Arduino no mercado, que se distinguem uma das outras em termos de números de entradas e saídas, memória, velocidade de processamento, portas de comunicação serial entre outras (SOUZA, 2011).

Todas as placas Arduino são desenvolvidas em um padrão que possibilita a sua expansão adicional, chamadas Shildes. Através dessas expansões, a placa Arduino adquire novas funcionalidades de formas simples e rápida. Estas podem ser ligadas sobre a placa de circuito impresso do Arduino com a finalidade de expandir sua capacidade (ARDUINO SHIELDS, 2015).

OXÍMETRO

O oxímetro é um aparelho usado para monitorar o transporte do oxigênio no sangue arterial (SpO2). Esse equipamento se constitui em uma técnica não invasiva. Baseia-se na análise do comportamento da luz que, ao atravessar o corpo humano, captura intensidade de reflexões diferentes. Com isso, é possível afirmar a eficiência do transporte do oxigênio no corpo humano (QUINTAS, 2015).

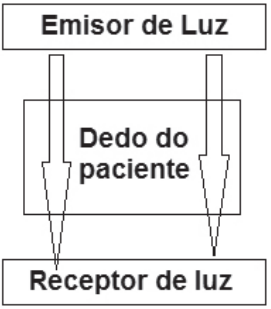


Figura 1 — Apresentação do oxímetro.

Fonte: Elaborado pelos autores.

A Figura 1 apresenta o funcionamento do oxímetro, onde o "Emissor de luz" é composto por diodos emissores de luz infravermelhos (LED) que emitem a luz que atravessa o dedo do paciente e é captada pelo "Receptor de luz" que são compostos por photodiodos que capturam a intensidade da luz infravermelha que atravessa o dedo do paciente. Desse modo, consegue monitorar de forma contínua e não invasiva a saturação parcial do oxigênio (SPO2). Isso irá distinguir a relação entre a oxiemoglobina (CO2HB) e a soma das concentrações de oxi e deoxiemoglobina (CHb) (NUNES, 1999) conforme apresentado na fórmula a seguir:

$$psO_2 = \frac{cO_2Hb}{(cO_2Hb + cHb)}$$

cO_2Hb = concentração de oxiemoglobina
cHb = concentração de deoxiemoglobina

Fonte: Elaborado pelos autores.

Esse aparelho é um dos mais usados pelos profissionais de saúde, pois o cálculo amostral feito por ele fornece uma grande segurança

da leitura das variáveis fisiológicas dos pacientes que necessitam de monitorização contínua. (ZANDER; MERTZLUFFT, 1990).

No mercado, existem vários modelos desse equipamento, que dispõem de vários níveis de complexidade. Entretanto, com base nas informações citadas anteriormente é possível a construção desse equipamento através da plataforma Arduino que possui a capacidade de enviar sinais elétricos aos "Emissores de luz", ler os sinais recebido pelo "Receptor de luz" efetuar cálculos e apresentar a informação para o usuário com a mesma eficiência de equipamentos comerciais.

ELETROENCEFALÓGRAFO

O EletroEncefaloGrama (EEG) é um exame capaz de registrar a atividade elétrica cerebral através de eletrodos superficiais inseridos no couro cabeludo do paciente. Esta forma de análise de sinais cerebrais foi descoberta por Hans Berger (psiquiatra alemão) que demonstrou que o cérebro gera atividade elétrica que é capaz de ser registrada. Para isso, após a coleta do sinal elétrico pelo eletrodo o mesmo foi amplificado milhares de vezes e posteriormente apresentado ao médico de forma gráfica para análise dos exames (PINTO JUNIOR, 1990).

É possível utilizar a plataforma Arduino para executar as funções de um eletroencefalógrafo conforme é apresentado na Figura 2. Nela, temos os eletrodos que são conectados ao couro cabeludo do paciente. Esses são responsáveis por capturar os sinais elétricos provenientes do cérebro e enviá-los a um amplificador de corrente elétrica que tem como objetivo efetuar a amplificação do sinal elétrico até níveis que possam ser lidos pela placa Arduino. Após o Arduino efetuar a leitura desses sinais, os mesmos são transformados em gráficos e enviados a monitores para a análise do médico que está efetuando o exame.

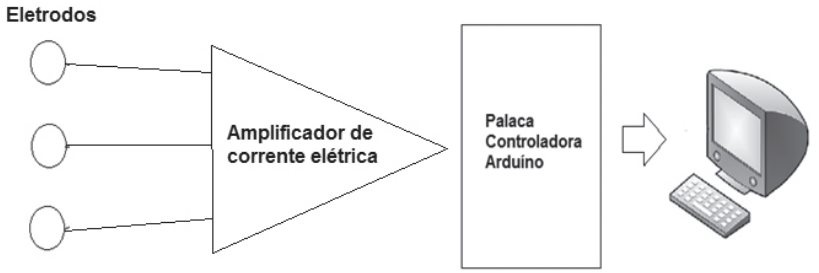


Figura 2 — Apresentação do eletroencefalógrafo simulado com a placa Arduino.

Fonte: Elaborado pelos autores.

ELETROCARDIÓGRAFO

O eletrocardiograma (ECG) é um exame que consegue registrar a atividade elétrica cardíaca na superfície do tórax através de eletrodos ligados à superfície da pele. Esses sinais analógicos são transferidos para o eletrocardiógrafo que filtra, amplifica e digitaliza os sinais, que são posteriormente transmitidos para monitores de vídeo ou impressão do gráfico em papel. Esse material será interpretado por um médico que avalia a saúde cardiovascular do paciente (ERTOLA; WHALEN, 2015). Esse é um procedimento não invasivo que registra a atividade elétrica do coração quando o paciente está parado.

Através das conexões das portas analógicas da placa Arduino, podemos captar os sinais elétricos proveniente dos sensores e tratá-los através de modelos matemáticos programados na placa controladora Arduino. Essa placa possui várias interfaces de saída que podem ser utilizadas para apresentar o sinal lido pelos sensores em um gráfico exibido na tela do computador. Com essas informações, o médico pode tomar decisões e entender o estado clínico do paciente. A Figura 3 apresenta a placa Arduino efetuando a função de um eletrocardiógrafo.

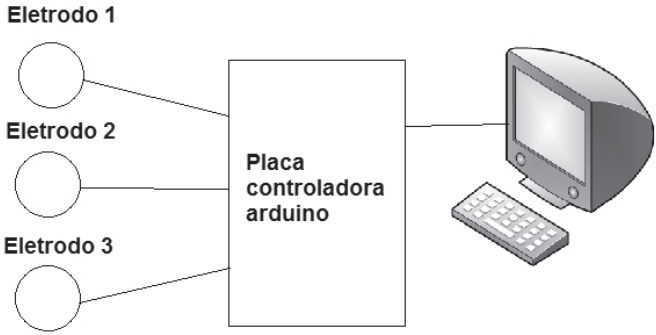


Figura 3 — Apresentação do eletrocardiógrafo simulado na placa Arduino.

Fonte: Elaborado pelos autores.

CONCLUSÃO

Desde a sua criação, a placa Arduino se tornou muito popular em todo o mundo por ser *open source*, criando um mercado em crescente expansão e com vários fabricantes. Isso acabou por influenciar uma queda no custo da plataforma. Sendo assim, podemos desenvolver equipamentos médicos eficientes capazes de atender populações carentes com redução do custo de exames clínicos, já que os grandes fabricantes, devido a pouca concorrência costumam manter os preços de seus equipamentos elevados, o que muitas vezes acaba por não atender de forma eficaz todas as classes sociais.

REFERÊNCIAS

ARDUINO. Disponível em: <https://www.arduino.cc/>. Acesso em: 01 out. 2015.

ARDUINO SHIELDS. Disponível em: <http://www.arduino.cc/en/Main/arduinoShields>. Acesso em: 01 out. 2015.

ERTOLA, J. P.; WHALEN, M. **Low-cost electrocardiogram device for preventative healthcare in rural populations of devel-**

oping countries. 2015. 50 f. Computer Science and Engineering Senior Theses (Graduação) — Santa Clara University, Santa Clara, USA, 2015.

MAGAGNIN JÚNIOR, A. et al. Eletrocardiógrafo com computação móvel como ferramenta didática na graduação em engenharia eletrônica e de computação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 41, 2013, Gramado, RS. **Anais eletrônicos**... Gramado, RS: FADEP, 2013. Disponível em: <http://www.fadep.br/engenharia-eletrica/congresso/pdf/117108_1.pdf >. Acesso em: 15 jun. 2015.

MCROBERTS, M. **Arduíno básico**. São Paulo**:** Novatec, 2011.

NUNES, W. A.; TERZI, R. G. G. Oximetria de pulso na avaliação do transporte de oxigênio em pacientes críticos. **Rev. Latino-am Enfermagem**, v. 7, n. 2, p. 79-85, abr. 1999.

PINTO JUNIOR, L. R**. Eletroencefalogramas básicos**. São Paulo: Roca, 1990.

QUINTAS, F. A. P. B. **Desenvolvimento de um oxímetro de pulso com comunicação bluetooth**. 2015. 163 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica) — Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal, 2015.

SOUZA, A. R. de et al. A placa Arduino: uma opção de baixo custo para experiências de física assistidas pelo PC. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 1, 1702, p. 1-5, jan./mar. 2011.

ZANDER, R.; MERTZLUFFT, F. Oxygen parameters of blood: definitions and symbols. **Scand. J. Clin. Lab. Invest**., v. 50, Suppl. 203, p. 177-185, 1990.

Capítulo II

EQUIPAMENTOS SINAIS E SENSORES MIOELÉTRICOS

Leandro Brito Santos
Alberto Monteiro Peixoto
Roberto Luiz Souza Monteiro
Tereza Kelly Gomes Carneiro

EQUIPAMENTOS SINAIS E SENSORES MIOELÉTRICOS

Este capítulo apresenta um estudo sobre os sinais mioelétricos e tipos de sensores utilizados para captura destes sinais, que podem ser utilizados para pesquisas relacionadas à integração das áreas da saúde e tecnologia. Esta produção é baseada em um review sobre o princípio de funcionamento dos sinais mioelétricos, as técnicas utilizadas para obtenção e suas possíveis aplicações. Como resultados, são apresentadas técnicas com sensores de contração muscular, sensores ópticos e EMG de superfície, ademais serão apresentados os conceitos de sistemas especialistas e sistemas embarcados que proporcionam conhecimento para a utilização de projetos com sensores mioelétricos.

INTRODUÇÃO

Este capítulo discute os principais mecanismos que são utilizados atualmente para a captura da atividade muscular. É feita uma abordagem sobre os sinais mioelétricos, o comportamento da luz em músculos em atividade, e as alterações na superfície da pele produzida pela contração e relaxamento do músculo. Estes são os três mecanismos abordados neste capítulo, e, em seguida, apresentamos um recurso para captura e tratamento dos sinais mioelétricos, utilizando microcontroladora embarcada na plataforma Arduino.

SINAIS ELÉTRICOS NO CORPO HUMANO E O USO EM PRÓTESES

O corpo humano é um organismo composto por vários conjuntos de tecidos, e estes por células que têm funções específicas. O fato de cada conjunto de células ser responsável por determinada função no organismo, torna necessário a existência de um meio equilibra-

do que beneficie todas as células. Para que esse equilíbrio exista, no entanto, é necessário que haja comunicação entre estes grupos celulares, e isso é feito de várias formas, sendo as principais delas através de moléculas e de sinais elétricos.

Vamos tratar, em seguida, sobre os sinais elétricos responsáveis pela contração muscular, que é o foco desta discussão.

POTENCIAL DE MEMBRANA E POTENCIAL DE AÇÃO

O potencial de membrana (ou de repouso) é uma condição apresentada pelas células quando elas estão em repouso. Nesse momento, existe uma diferença de potencial (ddp) que tem um valor de aproximadamente -70mv para a maioria das células. No caso das fibras nervosas calibrosas, esse potencial é de -90mv (GUYTON; HALL, 2006; OKUNO et al., 1982). No interior das células, a carga é mais negativa, e no espaço extracelular a carga é mais positiva.

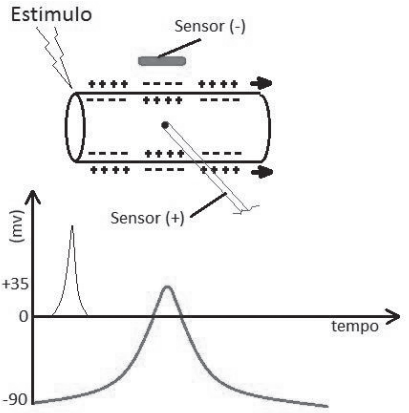


Figura 1 — Representação gráfica do momento do estímulo e da despolarização da célula.

Fonte: Adaptado de Guyton (2006).

Já o potencial de ação, é uma perturbação no potencial de membrana capaz de inverter esta polaridade, e se propagar pela membrana da célula. Este é o mecanismo utilizado pelas células nervosas para transmitirem seus sinais e se comunicarem.

A Figura 1 apresenta um voltímetro sendo utilizado para observar o potencial de repouso de um neurônio, e o potencial de ação que se propaga por ele.

Observa-se no gráfico, a tradução da leitura do voltímetro, onde foi detectado um potencial de repouso de -90mv, e que no momento da passagem do estímulo, foi detectada uma inversão de polaridade para +35mv (conhecido como despolarização), para logo em seguida, a membrana ser repolarizada e voltar ao seu estado de repouso, tudo isso em apenas alguns milissegundos.

Com esse fenômeno, as células conseguem transmitir seus sinais a longas distâncias e a grandes velocidades, que segundo (GUYTON; HALL, 2006) varia de 0,25m/s a 100m/s. Um estudo feito por Grandini e colaboradores (1992), avaliando os nervos mediano, ulnar, radial, fibular e tibial posterior, obteve valores aproximados de velocidade, variando de 47m/s a 79m/s, sendo essa variação relacionada ao sexo e à idade da pessoa avaliada.

UNIDADE MOTORA

Um músculo (conjunto de fibras musculares, ou células musculares) é inervado por um nervo motor (conjunto de axônios). Cada um desses axônios (motoneurônio) emite várias projeções, e cada uma delas vai se projetar sobre a membrana de uma fibra muscular, sendo este local denominado placa motora.

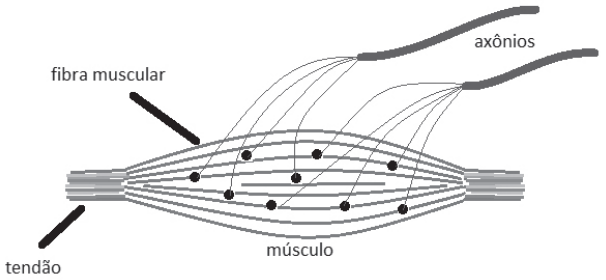


Figura 2 — Representação de um grupo muscular, com suas fibras musculares inervadas pelos axônios.

Fonte: Elaborado pelos autores.

A estrutura formada por um moto neurônio e todas as fibras musculares inervadas por ele, é denominado unidade motora (AIRES, 2008).

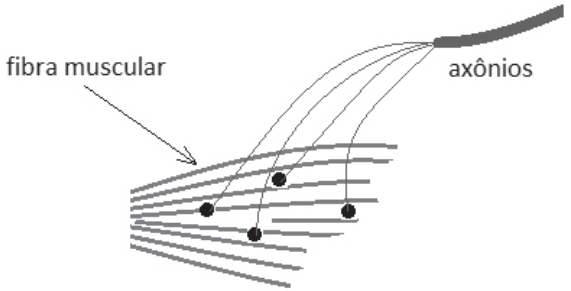


Figura 3 — Representação de uma unidade motora.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Esta estrutura é a unidade fundamental, no que diz respeito à contração muscular, e é dela que são gerados os sinais mioelétricos.

Para que uma contração muscular seja mais forte, existem dois mecanismos: o primeiro, conhecido como recrutamento (ou somação espacial), é um fenômeno que ocorre com a ativação das unidades motoras, ou seja, quanto mais unidades motoras ativadas, mais fibras

musculares participando da contração (são recrutadas), e maior a força de contração. O segundo, conhecido como somação temporal, ocorre com o aumento da frequência dos potenciais de ação sobre as unidades motoras já ativadas. Esta frequência tem valores mínimos aproximados de 5 a 10 Hz, e pode chegar aos 60hz (KARMEN; GABRIEL, 2010). O potencial de ação desencadeado na unidade motora é conhecido como *Motor Unit Action Potential* (MUAP).

EXAMES REALIZADOS EM FUNÇÕES DE SINAIS ELÉTRICOS

Temos vários exames que são realizados em função dos sinais elétricos gerados pelo corpo humano. Entre eles podemos citar o EletroEncefaloGrama (EEG); EletroCardioGrama (ECG) e a EletroMioGrafia (EMG).

O EEG é o traçado gráfico de um exame realizado com a colocação de eletrodos sobre o couro cabeludo da cabeça, com objetivo de captar as ondas que são formadas pela atividade cerebral. São sinais cuja frequência variam de 0,5 a 30 Hz, dependendo da atividade do sistema nervoso central. Quanto maior a atividade cerebral, maior a frequência dos sinais gerados.

O ECG é o traçado gráfico de um exame realizado com a colocação de eletrodos sobre os membros superiores e inferiores, ou nas regiões denominadas precordiais, com o objetivo de capturar a atividade elétrica da musculatura do coração. Diferente do EEG, no ECG, a frequência mais alta pode chegar aos 4 Hz.

O MUAP, origem do sinal mioelétrico, pode ser capturado de duas formas: através do eletrodo de agulha, que é introduzido diretamente no músculo, e que obtém um sinal de melhor qualidade, ou através de eletrodo de superfície, que são colocados sobre a pele, sendo que, este último o método utilizado para captura do sinal para uso em próteses mioelétricas. Esse é um método não invasivo e de fácil aplicação, embora precise ser tratado devido à presença de ruídos bastante significativos.

SINAL CAPTURADO POR ELETRODO DE SUPERFÍCIE

Dentre as vantagens apresentada pelo método de superfície para obter o sinal mioelétrico, podemos citar: a segurança para o paciente, a facilidade de obtenção do sinal, e o fato de ser um método não invasivo (CRISWELL, 2011).

Luca (2002) escreve em seu artigo o sinal mioelétrico de superfície como um sinal estocástico, e que poderia ser representado, de forma razoável, por uma função que representasse uma distribuição Gaussiana, tendo sua amplitude variando de 0 a 10 mV(pp), ou 0 a 1,5 mV(rms).

Na Figura 4, o sinal A é um exemplo do sinal EMG. Em B, o gráfico representa a distribuição do sinal em relação à frequência, o que nos leva a observar que o espectro do sinal varia de 0 a 500 Hz, mas sua maior concentração está na faixa de 10 a 150 Hz, aproximadamente.

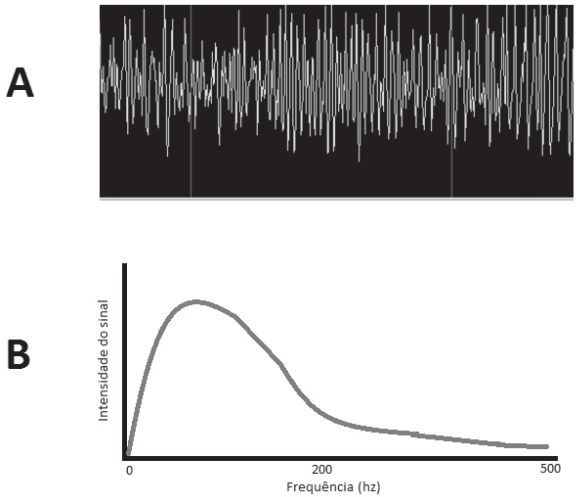


Figura 4 — Apresentação do espectro de frequência de um sinal EMG.

Fonte: Adaptado de Luca (2002).

O ruído apresentado pelo sinal SEMG (*Surface* EMG) deve-se principalmente, segundo Luca (2002): (a) aos sinais inerentes do próprio equipamento utilizado para a detecção e gravação do sinal EMG, (b) aos ruídos ambientes, (c) aos movimentos entre o corpo, (d) aos eletrodos e fios, e (e) a variações na frequência do próprio SEMG.

Devido a essas características, o ruído capturado precisa passar por um processo de tratamento para que o sinal originado do MUAP seja obtido com o máximo de fidelidade, e seja retirado o máximo de ruído externo. Como as interferências advindas da rede elétrica (50 a 60 Hz) estão na mesma frequência de uma faixa importante do EMG, estas são as interferências mais importantes. Embora não seja o ideal, uma alternativa que tem sido utilizada é o uso de um filtro rejeita faixa (*notch-filter*) para retirada desta frequência da rede elétrica.

USO DO SINAL PROVENIENTE DA SEMG PARA CONTROLE DE PRÓTESES

A aplicação do sinal proveniente da SEMG para controle de próteses não é algo novo. Godoi (2013), em seus estudos, relata o uso deste recurso em prótese desde 1948, sendo que na década de 2000 estes estudos evoluíram com objetivo de aplicação em próteses mioelétricas multifuncionais. Segundo Zeca e colaboradores (2002), esses estudos encontram dificuldades devido ao fato do sinal na SEMG sofrer mudanças de suas características no tempo, originadas na interface pele-eletrodo, e de alterações fisiológicas dos próprios músculos, além do comportamento estocástico, como já foi mencionado antes.

PONTOS DE CAPTURA DOS SINAIS SEMG

A mão é uma estrutura composta por 27 ossos, que apresentam mais de vinte articulações e tem 33 músculos envolvidos em seus movimentos. Desses músculos, seis deles são motores primários, por serem considerados os mais importantes (VILELA JUNIOR et al., 2011). Estes seis músculos motores primários têm sua origem localizada no antebraço, portanto, mesmo em caso de amputação total da

mão e punho, os músculos continuam no corpo, sendo os flexores na região anterior do antebraço, e os extensores na região posterior.

No caso da EMG invasiva, os eletrodos de agulha seriam posicionados diretamente nestes músculos, obtendo o sinal específico para cada ação da mão, conforme procedimentos apresentados por Criswell (2011). Na SEMG, os eletrodos serão colocados na superfície do antebraço, tanto na região anterior quanto posterior, sendo por este motivo, um sinal complexo.

O sinal capturado será amplificado e passará por um processo de filtragem, o que Ortolan e colaboradores (2000) consideram a etapa chamada tratamento analógico.

TECNOLOGIAS DE SENSORES DISPONÍVEIS PARA CAPTURA DE ATIVIDADES MUSCULARES

As tecnologias de sensores utilizadas para a captura de atividades musculares não estão limitadas aos sinais mioelétricos. São vários os estudos nesse sentido com objetivo de que os sensores obtenham informações cada vez mais detalhadas do comportamento muscular, menor sensibilidade aos ruídos, menor preço e menor tamanho. Em seguida, são apresentadas as principais propostas de sensores.

OPTOELECTRONIC MUSCLE CONTRACTION SENSOR FOR PROSTHETICS

Esta tecnologia não depende do sinal mioelétrico produzido pelas fibras musculares, e, segundo os experimentos realizados pelos desenvolvedores, é capaz de diferenciar uma atividade muscular estática da atividade dinâmica (BANSAL, 2014).

O princípio dessa tecnologia consiste na emissão de luz produzida por LEDs, e em seguida, sua captura por fotodiodos. A luz é emitida perpendicularmente às fibras musculares. O nível de espalhamento desta luz é o que dá a informação da atividade muscular, levando em conta que quanto mais relaxado o musculo, maior este espalhamento.

A Figura 5 ilustra um exemplo da configuração de um sensor deste tipo colocado sobre o músculo bíceps de um amputado.

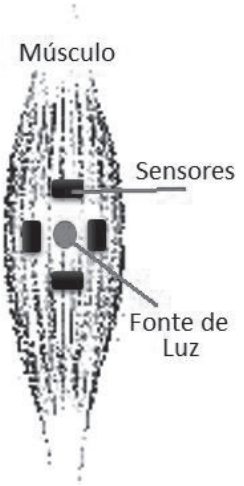


Figura 5 — Ilustração do posicionamento do sensor óptico sobre um músculo.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Esta é uma tecnologia que ainda se encontra em desenvolvimento, apresentando ainda um custo elevado, e necessitando de algumas adaptações devido a sua sensibilidade ao meio.

MUSCLE CONTRACTION (MC) SENSOR

Esta tecnologia utiliza como referência de sua medida a deformidade provocada na superfície do corpo pela contração muscular. É uma técnica não invasiva e seletiva, visto que o sensor deverá ser colocado sobre o músculo, e irá medir o comportamento apenas desse músculo especificamente.

O sensor é um componente pequeno e leve, apresentando em seu centro um pequeno bastão que será colocado em contato com a superfície do corpo sobre o músculo e lhe aplicará uma leve pressão. Variações no

posicionamento do bastão representam variações na tensão muscular. Um desenho representativo desse princípio pode ser visto na Figura 6.

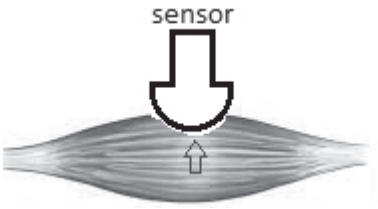


Figura 6 — Uma representação simplificada do princípio de medição do MC.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os testes realizados com esse sensor, segundo Đorđević e colaboradores (2014), revelam uma forte relação dos dados obtidos com o comportamento muscular; foi encontrada também uma forte relação com os sinais da eletromiografia, cujos testes foram realizados ao mesmo tempo para o SEMG e o MC *Sensor* conforme ilustra a Figura 7. Trata-se de uma técnica promissora, observando, no entanto, que mede o comportamento apenas do músculo sob o eletrodo.

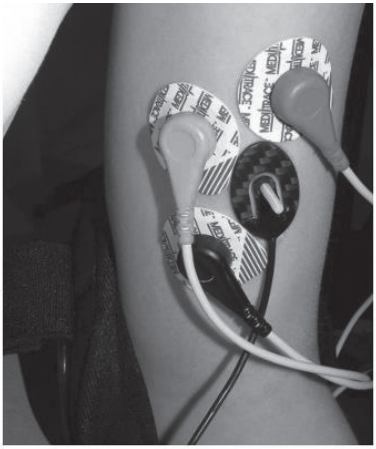


Figura 7 — Posição do sensor MC e eletrodo EMGna região do bíceps.

Fonte: MDPI (2015).

SENSOR SEMG — ELETROMIOGRAFIA DE SUPERFÍCIE

Sem dúvidas, trata-se do método mais utilizado para avaliação da atividade muscular na atualidade. Várias são as áreas de atuação onde encontramos o emprego dessa técnica como recurso preferencial (BERNARDES et al., 2010; SONO, 2012).

Devido à frequência com que esse tipo de eletrodo é utilizado para nesse tipo de atividade, foi criado um projeto denominado *Surface ElectroMyoGraphy for the Non-Invasive Assessment of Muscle* (SENIAM). Esse projeto criou um protocolo para a técnica SEMG, determinando o tamanho, o formato, a distância entre os eletrodos, o tipo de material, a forma de construção, além de toda a técnica de aplicação deste eletrodo (DAY, 2002).

O sensor SEMG é uma composição de eletrodos de captura e um sistema de amplificação do sinal. Na Figura 8, apresentamos a colocação de alguns eletrodos na região anterior do antebraço e um eletrodo junto ao epicôndilo que servirá como referência para captura do sinal.

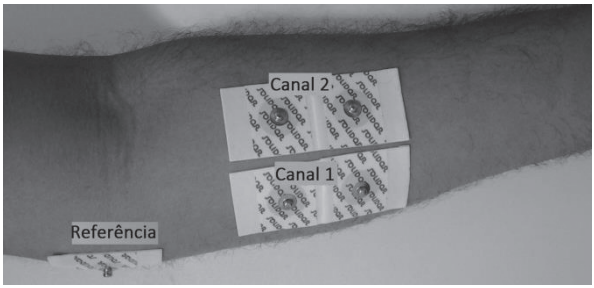


Figura 8 — Apresentação dos eletrodos utilizados para captura do sinal EMG nos flexores do antebraço.

Fonte: Elaborado pelos autores.

O sinal capturado por estes eletrodos serão amplificados por amplificadores diferenciais conforme Figura 9. O sinal obtido na saída dos amplificadores é o sinal EMG bruto.

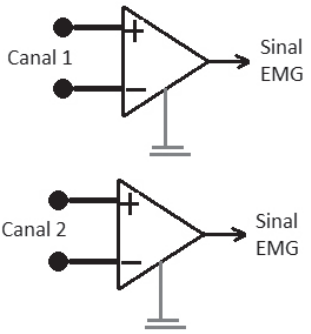


Figura 9 — Amplificadores utilizados na captura do sinal EMG.

Fonte: Elaborado pelos autores.

SISTEMA ESPECIALISTA

Sensores mioelétricos utilizados em projetos para saúde e tecnologia, utilizam o conceito de Sistemas Especialistas (SE), que são sistemas que proporcionam a solução de problemas que atualmente são resolvidos apenas por indivíduos especialistas. Estes tipos de sistemas têm o propósito de resolver situações complexas de forma idêntica à utilizada pelos peritos humanos (CUNHA, 1987).

Os SE são utilizados para caso específico de Sistemas Baseados em Conhecimento (SBC). Em um SE, o conhecimento é obtido a partir de um ou mais peritos ou especialistas, o desenvolvimento de um SE incorpora uma vertente técnica e humana complexa com relacionamento de confiança entre aquele que especifica quem desenvolve o sistema e quem possui o conhecimento (WEISS; KULIKOWSKI, 1988).

Os SE apresentam algumas classificações como: previsão — a partir da modelagem de dados, esse sistema permite uma determinada previsão do futuro através de uma base de conhecimento; interpretação, utilizado para descrever situações a partir da observação de fatos que fazem a análise de dados e procuram determinar as relações e seus significados; reparo desenvolvido para administrar reparos ve-

rificados na etapa de diagnósticos, monitoramento que é associado ao diagnóstico de acompanha a evolução de um sistema através de medições que possam indicar estas variações (GENARO, 1987). Na interpretação, ao relacionar com os sinais mioelétricos é possível entender o padrão dos sinais para estudos na área da fisioterapia, por exemplo, que tem como foco o comportamento muscular de um indivíduo e na classificação de reparo, se pode ser utilizado para aprendizado na melhora de problemas musculares de um indivíduo, ambos podem ser capturados e analisados por todas as técnicas de captura de sinais musculares apresentados neste capítulo. A Figura 10 apresenta o modelo de SE.

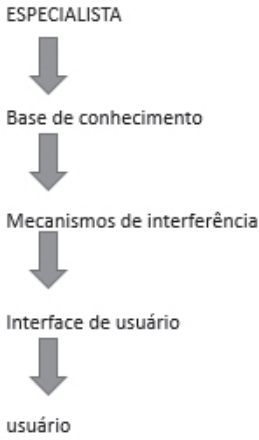


Figura 10 — Modelo de sistema especialista.

Fonte: Elaborada pelos autores.

SISTEMA EMBARCADO PARA A CAPTURA DE SINAIS MIOELÉTRICOS

Atualmente, existem diversos projetos de sistemas embarcados que utilizam o conceito de SE para aplicações de sinais ECG, EMG, EEG e outros, contudo, os projetos que oferecem o licenciamento *Open Source* proporcionam maior interesse nos projetos acadêmicos

por conta da facilidade do acesso de hardware e software com esta modalidade de licenciamento. Entre as possibilidades de projetos com sistemas embarcados destaca-se o uso do Arduino pela sua ampla utilização em projetos acadêmicos.

SISTEMA EMBARCADO COM ARDUINO

O projeto Arduino teve sua origem no *Interaction Design Institute* na cidade de Ivrea, na Itália, em 2005. Ele surgiu a partir da necessidade do professor Massimo Banzi que procurava um meio barato de seus estudantes iniciarem os trabalhos com tecnologia. Esse seu problema foi compartilhado com um pesquisador visitante da Universidade de Malmo, e na Suécia com professor David Cuartielles, que também estava procurando uma solução similar, juntos decidiram desenvolver uma microcontroladora que poderia ser utilizada pelos seus estudantes de arte e design no ensino de algoritmos e programação, com proposta de baixo preço de produção, mas com sua prototipagem e software para desenvolvimento sob licença de uso *Open Source*, ou seja, poderá sofre modificações conforme a necessidade do usuário. Um grupo de estudantes e professores se reuniram e construíram os primeiros modelos da microcontroladora Arduino (EVANS; NOBLE; HOCHENBAUM, 2013).

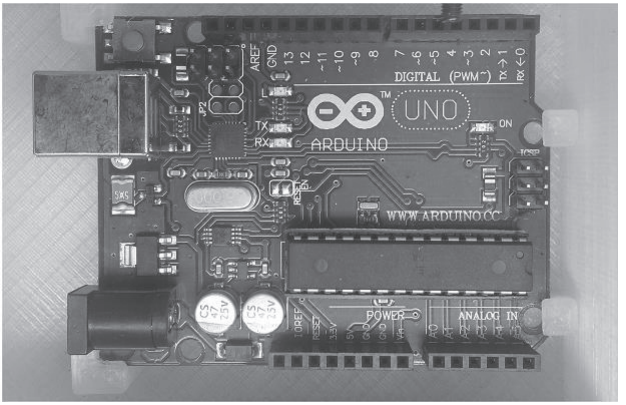


Figura 11 — Imagem da placa do Arduino versão UNO R3.
Fonte: Elaborado pelos autores.

SHIELD para captura de sinais EMG E ECG

A placa do Arduino não é suficiente, por si só, para fazer a captura dos sinais aqui propostos. Por isto, existem os chamados Shields que são pequenas placas utilizadas para serem encaixadas ao Arduino nos modelos UNO, Leonardo e Mega. Os *Shields* funcionam como um bloco de montagem seguindo o mesmo princípio dos brinquedos da lego e desta maneira conseguimos utilizar os recursos seja ela qual for com a mesma interface do Arduino. A Olimex é um fabricante de *hardware* que desenvolveu um modelo de *shiled* para a captura de sinais EMG e ECG e seu monitoramento. A Figura 12 apresenta uma imagem desse modelo de *hardware*.

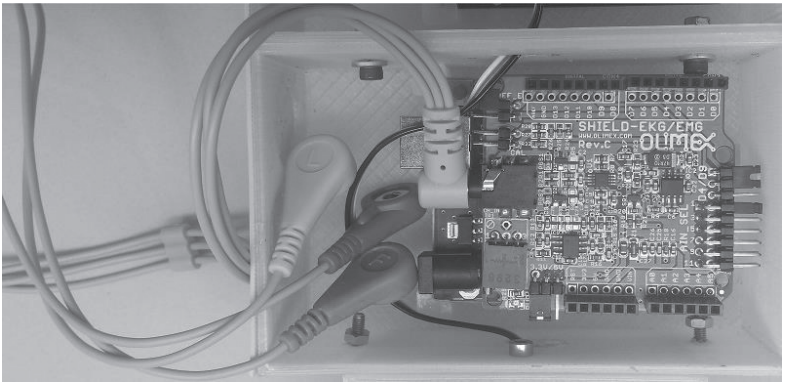


Figura 12 — Shiled para a captura de sinais EMG e ECG.

Fonte: Elaborado pelos autores.

CONCLUSÃO

Embora exista um número significativo de opções para se obter informações da atividade muscular, os sinais mioelétricos ainda têm sido a primeira escolha. Isto não quer dizer que as outras técnicas que estão sendo estudadas e desenvolvidas devam ser descartadas, pois essa escolha pelo sinal mioelétrico é uma questão de contexto atual. Junto a isso, enfatizamos o uso do Arduino como recurso físico para obtenção e tratamento do sinal apenas como recurso ex-

perimental, visto que é um *hardware* de boa disponibilidade para aquisição, de baixo custo e que atende às necessidades mínimas para a fase experimental de um projeto. Caso o projeto seja viável, deve ser construído um *hardware* específico que atenda a necessidade relacionado às dimensões, peso, consumo de energia, preço e outros parâmetros a depender do projeto.

REFERÊNCIAS

AIRES, M. M. **Fisiologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.

BANSAL, A. K. et al. Wearable organic optoelectronic sensors for medicine. **Advanced Materials**, v. 27, n. 46, p. 7638-7644, dez. 2014. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adma.201403560/full>. Acesso em: 10 mar. 2016.

BERNARDES, D. F. F; GOMES, M. V. S. G; BENTO, R. F. Portadores de paralisia facial periférica. **Rev. CEFAC**, jan-fev; v. 12, n. 1, p. 91-96, 2010.

CUNHA, H.; SOUZA, R. **Introdução aos sistemas especialistas**. Rio de Janeiro: LTC, 1987.

CRISWELL, E. **Cram's introduction to surface electromyography**. 2. ed. Massachusetts: Jones and Bartlett, 2011.

DAY, B. S. Important factors in surface EMG measurement. **Bortec Biomedical**, p. 1–17, 2002.

ĐORĐEVIĆ, S. et al. In-vivo measurement of muscle tension: dynamic properties of the MC sensor during isometric muscle contraction. **Sensors**, v. 14, n. 9, p. 17848-17863, 2014.

EVANS, M.; NOBLE, J.; HOCHENBAUM, J. **Arduino em ação**. São Paulo: Novatec, 2013.

GENARO, S. **Sistemas especialistas**: o conhecimento artificial. Rio de Janeiro: LTC, 1987.

GODOI, T. S. M. **Prótese mioelétrica controlada por redes neurais**, 2013. UniCEUB.

GRANDINI, D. L.; NOBREGA, J. A. M.; JULIANO, Y. Valores normais das velocidades de condução nervosa em um grupo de 101 pessoas. **Arq Neuro-Psiquiatr**, v. 50, n. 0004-282X, p. 50–55, 1992.

GUYTON, A. C.; HALL, J. E. **Tratado de fisiologia médica**. 11. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2006.

LUCA, C. J. de. **Surface electromyography**: detection and recording. DELSYS Incorporated, 2002.

MDPI. Disponível em: <http://www.mdpi.com/1424-8220/14/9/17848>. Acesso em: 07 ago. 2015. In-vivo measurement of muscle tension: dynamic properties of the MC Sensor during isometric muscle contraction

NCBI. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3231268>. Acesso em: 07 ago. 2015. MC Sensor—a novel method for measurement of muscle tension

KARMEN, G.; GABRIEL, D. A. **Essentials of electromyography**. United States: Human Kinetics, 2010.

OKUNO, E.; CALDAS, I. L.; CHOW, C. **Física para ciências biológicas e biomédicas**. São Paulo: Harper & Row do Brasil, 1982.

ORTOLAN, R. L. et al. Proposta de um sistema de controle de uma prótese mioelétrica multifunção para membros superiores. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO IBERDISCAP, v. 1, n. 84-699-3253-5, 2000. p. 111-114. Disponível em: <http://www.sel.eesc.usp.br/labciber/alunos_pos/ortolan/arquivos/p111.PDF>. Acesso em: 10 mar. 2016.

SHIELG EMG OLIMEX. Disponível em: <https://www.olimex.com>. Acesso em: 20 jun. 2015.

SONO, T. S. P. **Projeto de uma prótese de mão sub-atuada: mecanismo, interface e sistema de controle**. 2012. 119 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) — Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte , 2012.

SOUZA, F. **Arduino UNO**. Disponível em: <http://www.embarcados.com.br/arduino-uno>. Acesso em: 29 jul. 2015.

SAMUEL, I. et al. An organic optoelectronic muscle contraction sensor for prosthetics. **SPIE Newsroom**, abr. 2015. Disponível em: <http://spie.org/newsroom/technical-articles/5812-an-organic--optoelectronic-muscle-contraction-sensor-for-prosthetics>. Acesso em: 29 jul. 2015.

VILELA JUNIOR, G. B. et al. **Cinesiologia**. Ponta Grossa, PR: UEPG, 2011.

ZECCA, M.; MICERA, S. C.; DARIO, P. Control of multifunctional prosthetic hands by processing the electromyographic signal. **Crit. Rev. Biomed. Eng.**, v. 30(4-6), p. 459–486, 2002.

WEISS, M.; KULIKOWSKI, C. A. **Guia prático para projetar sistemas especialistas**. Rio de Janeiro: LTC, 1988.

Capítulo III

TECNOLOGIA ASSISTIVA PARA ACESSIBILIDADE: PROTÓTIPO DE BENGALA AUTOMATIZADA PARA DETECÇÃO DE OBSTÁCULOS

Justino de Araújo Medeiros
Andrea Cassia Peixoto Bitencourt

TECNOLOGIA ASSISTIVA PARA ACESSIBILIDADE: protótipo de bengala automatizada para detecção de obstáculos

Este capítulo tem como objetivo apresentar as etapas de projeto, construção e testes de um protótipo da Bengala Automatizada baseada em tecnologia assistiva para detecção de obstáculos, com ênfase nos sistemas de sensoriamento, controle e mecânico. O projeto foi idealizado para o público-alvo dos deficientes visuais, com o intuito de auxiliá-los nas suas atividades diárias, oferecendo-lhes uma ferramenta que proporcionasse mais segurança e evitasse colisões com obstáculos que se encontram em torno dos seus perímetros. Para se chegar a um modelo adequado ao perfil do projeto, foi realizada uma revisão bibliográfica para que o protótipo se aproximasse ao máximo de uma bengala que pudesse auxiliar com eficiência o indivíduo com deficiência visual. A importância do projeto para o aspecto de inovação e desenvolvimento tecnológico é o de apresentar uma ferramenta auxiliar para deficientes visuais com foco em termos mecânicos, de sensoriamento e controle, o que vai de encontro a uma nova terminologia quando o assunto se trata de acessibilidade: a tecnologia assistiva, que utiliza recursos tecnológicos para possibilitar diversas melhorias para pessoas com deficiência em geral. Os resultados obtidos demonstram a eficiência da primeira versão da bengala desenvolvida, com um protótipo seguro e confiável. Como aperfeiçoamento do projeto, serão agregadas novas funções que possibilitaram melhor adaptação aos usuários.

INTRODUÇÃO

As inovações tecnológicas e os avanços na área de saúde têm proporcionado mudanças no comportamento da sociedade e interferido em um novo conceito e visão, no fazer destas pessoas que apresentam algum tipo de deficiência, favorecendo uma transformação e

um olhar mais humano na forma de lidar com esta especificidade na vida destas pessoas.

O termo "deficiência" é utilizado para denominar a disfunção ou ausência da capacidade intelectiva ou fisiológica do indivíduo. Porém, este conceito em sua acepção mais profunda vem se modificando ao longo dos tempos. Na medida em que a interação destas pessoas nos diversos setores da economia vem promovendo mudanças econômicas, sociais e políticas, estas vêm sendo vistas e respeitadas em todas as suas potencialidades, transformando ao longo do tempo a forma de pensar e atuar dos demais.

De acordo com o *Centers for Disease Control and Prevention* (CDC), em uma definição revisada pela última vez em 2011:

> Cegueira é uma severa deficiência visual, incorrigível por óculos tradicionais, lentes de contato, remédio ou cirurgia. Ela interfere com a habilidade de uma pessoa na execução de suas atividades diárias. "Cegueira Legal" é definida como visão cuja melhor correção no melhor olho é pior ou igual a 20/200 ou um campo visual menor do que 20 graus em diâmetro.

Contudo, segundo Houaiss (2001), a deficiência pode ser definida dentro de duas acepções: uma que envolve aspectos de funcionalidade motora e outra dentro de uma perspectiva psíquica. Dentro de uma perspectiva na área médica, significa que há uma má funcionalidade ou insuficiência de um órgão; dentro de uma definição em termos psiquiátricos, significa insuficiência intelectiva ou psíquica. Na Convenção Sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência, no seu artigo 1º, a pessoa com deficiência é definida como:

> [...] aquelas que têm impedimentos de longo prazo de natureza física, mental, intelectual ou sensorial, os quais, em interação com diversas barreiras, podem obstruir sua participação plena e efetiva na sociedade em igualdades de condições com as demais pessoas. (BRASIL, 2009).

Em 2001, a Organização Mundial da Saúde (OMS) passa a entender através da Classificação Internacional de Funcionalidade, Incapacidade e Saúde (CIF) que a incapacidade está relacionada tanto

com a questão de limitação de estruturas e funções corporais como também de fatores sociais e ambientais que exercem uma grande influência sobre esta incapacidade.

Com isso, a pesquisa desenvolvida teve como objetivo o desenvolvimento de uma tecnologia assistiva associada a um determinado grupo de pessoas que apresentam como deficiência a cegueira. Segundo Sá, Campos e Silva (2007, p. 15):

> A cegueira é uma alteração grave ou total de uma ou mais das funções elementares da visão que afeta de modo irremediável a capacidade de perceber cor, tamanho, distância, forma, posição ou movimento em um campo mais ou menos abrangente.

De acordo com a OMS (2014), estima-se que existem cerca de 285 milhões de deficientes visuais em todo o mundo, dos quais 39 milhões são cegos e os demais 246 milhões possuem baixa visão. O Censo Demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), realizado em 2010, revela que haviam no Brasil 506.377 cegos e 6.056.533 pessoas que apresentavam grande dificuldade para enxergar.

Esses dados demostram a importância do desenvolvimento de tecnologias assistivas que busquem prover melhores condições de vida para pessoas com deficiência. Nesse contexto, é apresentado neste capítulo, o projeto e a construção de uma bengala automatizada, que integra diversos sistemas, sendo eles: mecânico, controle e sensoriamento. Ressaltamos ainda que o desenvolvimento desse projeto torna-se eficaz na medida em que este serve como um meio de proporcionar a este grupo de pessoas (deficientes visuais) igualdade de condições com as demais, através da promoção de oportunidades.

OBJETIVOS DO PROJETO DESENVOLVIDO

O objetivo geral do projeto aqui apresentado foi desenvolver uma tecnologia assistiva de baixo custo que buscasse trazer melhorias na mobilidade da pessoa com deficiência visual, através da construção

de uma bengala automatizada dotada de sistemas, como o de sensoriamento, controle e mecânico.

De modo específico, buscou-se: difundir o conhecimento em tecnologias assistivas no Instituto Federal da Bahia, Campus de Salvador, melhorar a mobilidade de alunos com deficiência visual e aumentar a frequência escolar dos portadores, diminuindo a evasão e, consequentemente, a repetência.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tecnologia Assistiva (TA) é um termo ainda pouco difundido por profissionais da área de educação tecnológica e em áreas do conhecimento, porém bastante presente em todos os processos que envolvem a inclusão de deficientes no âmbito educacional, sociocultural, político, socioeconômico e religioso. Para Sassaki esta é:

> [...] a tecnologia destinada a dar suporte (mecânico, elétrico, eletrônico, computadorizado etc.) a pessoas com deficiência física, visual, auditiva, mental ou múltipla. Esses suportes, então, podem ser uma cadeira de rodas de todos os tipos, uma prótese, uma órtese, uma série infindável de adaptações, aparelhos e equipamentos nas mais diversas áreas de necessidade pessoal (comunicação, alimentação, mobilidade, transporte, educação, lazer, esporte, trabalho e outras). (SASSAKI, 1996, p. 01 apud VIEIRA, 2014).

A tecnologia assistiva favorece a independência do deficiente e facilita a sua acessibilidade, ampliação da comunicabilidade, mobilidade, integração social e familiar e melhoria da qualidade e eficiência dos sistemas públicos de ensino. A Tecnologia Assistiva é também chamada de "Ajudas Técnicas", "Tecnologia de Apoio" ou "Tecnologia Adaptativa". A Portaria n° 142 de 16 de novembro de 2006 instituiu o Comitê de Ajudas Técnicas (CAT) no Brasil e definiu Tecnologia Assistiva (TA) como:

> [...] uma área do conhecimento de característica interdisciplinar, que engloba produtos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivam promover a funcionalidade relacionada à atividade e participação de pessoas com

> deficiência, incapacidades ou mobilidade reduzida, visando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social. (ATA VII — Comitê de Ajudas Técnicas (CAT) — Coordenadoria Nacional para Integração da Pessoa Portadora de Deficiência (CORDE) — Secretaria Especial dos Direitos Humanos — Presidência da República). (BRASIL, 2006).

Todo recurso e serviço que favoreça a independência e autonomia de pessoas com deficiência, ampliando as suas potencialidades para a sua inclusão na sociedade é considerado uma tecnologia assistiva. Os recursos estão diretamente ligados a todos os equipamentos ou dispositivos que possam auxiliar e facilitar a mobilidade, independência e autonomia do deficiente. Foi pensando nisso que o projeto da Bengala Automatizada para Detecção de Obstáculos foi idealizado e, ao longo do tempo, desenvolvido.

No desenvolvimento da primeira versão do protótipo, foram considerados três fatores essenciais: um sistema de sensoriamento, capaz de realizar a detecção de obstáculos ao redor do deficiente visual; um sistema de alarme (equivalente ao sistema de controle), capaz de alertar a esta pessoa sobre a presença desses obstáculos; e, além disso, um sistema mecânico, capaz de prover uma melhoria de performance do protótipo.

Para a etapa do sensoriamento, foram utilizados sensores-ultrassônicos, cujo funcionamento foi descrito pelo Prof. Marcelo Wendling, da UNESP (Universidade Estadual Paulista), da seguinte forma:

> [...] um oscilador emite ondas ultrassônicas (em torno de 42kHz) que resultam em um comprimento de onda na ordem de alguns centímetros, o que permite detectar objetos relativamente pequenos. As ondas refletidas pelo objeto são captadas pelo sensor, fornecendo assim um sinal que pode ser processado trazendo informações sobre o objeto no qual ocorreu a reflexão. (WENDLING, 2010, p. 18).

Sendo assim, os sensores ultrassônicos podem ser utilizados para detectar a presença de objetos ou pessoas. Através da realização de testes, esse sensor se mostrou mais eficiente para a detecção dos obstáculos comuns ao portador de deficiência.

A Figura 1 detalha os diversos sistemas localizados na bengala. Observa-se um conjunto de quatro sistemas de sensores dispostos ao longo da bengala, sendo o da parte superior para a detecção de obstáculos com uma única cápsula, com o objetivo de detectar obstáculos que possam colidir com a cabeça do deficiente visual, a fim de protegê-lo de alguns obstáculos peculiares, como cabines telefônicas, caçambas elevadas de caminhões e caixas de correio, cujo não podem ser percebidos apenas pelo método tátil, havendo assim a possibilidade de acidentes.

Os outros três sensores possuem duas cápsulas, cada um com um objetivo: o sensor da base detecta obstáculos à esquerda; o sensor do centro detecta obstáculos à frente; o do topo, detecta obstáculos à direita. Além disso, as bengalas convencionais possuem um alcance de apenas 0,5 metro, o que viabiliza ainda mais a necessidade de novos tipos de bengalas como as eletrônicas similares ao projeto em questão, que vêm sido desenvolvidas visando diminuir esses tipos de acidentes, que por mais leves que sejam podem causar danos ao usuário da bengala (SANTOS, 2010; FERREIRA, 2010; BORGES, 2010; GONÇALVES, 2010).

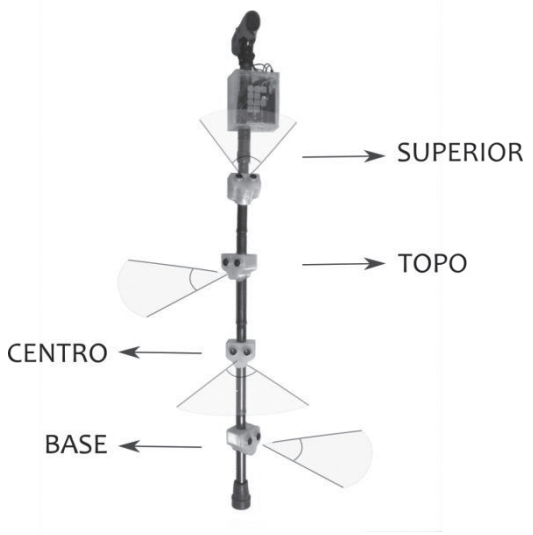


Figura 1 — Protótipo da Bengala Automatizada para Detecção de Obstáculos.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Dessa forma, no sistema de sensoriamento da bengala existe uma ampla angulação de possíveis obstáculos a serem detectados, já que existem três sensores ultrassônicos perpendiculares ao chão atuando em diferentes sentidos. Somando-se todas essas medições oferecidas pelos sensores, essa angulação seria aproximadamente de 120º C, raio considerado ideal para que o usuário do projeto possa reduzir o risco de colidir com objetos/pessoas ao utilizar a bengala em suas atividades. A Figura 2 apresenta o gráfico do padrão de radiação do sensor ultrassônico HC-SR04, utilizado no projeto. Esse padrão indica propriedades importantes com base nas coordenadas espaciais deste tipo de sensor, geralmente esféricas. A propriedade mais importante nesse gráfico é a distribuição de energia, que significa dizer quantos decibéis (unidade de ondas ultrassônicas) temos em função de um ponto de referência, juntamente a um raio que não muda. Nesse caso, é definida a que distância se pode detectar um objeto em função do ângulo.

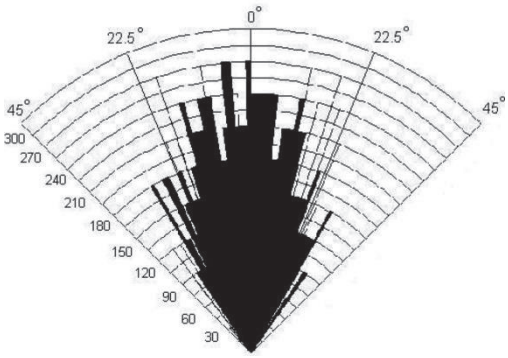


Figura 2 — Gráfico do padrão de radiação do sensor HC-SR04.

Fonte: http://1.bp.blogspot.com.

O gráfico possibilita determinar o melhor ângulo a partir de uma referência inicial para obtenção dos melhores resultados nas leituras. Com isso, observa-se que o ângulo efetivo para este sensor é o de 15º, o que indica que o sensor poderá detectar objetos num interva-

lo de 30º, sendo 15º à direita e à esquerda do ângulo 0º. Portanto, nas medições realizadas num ângulo menor que 15º, as leituras são mais precisas.

Além disso, existe a possibilidade de falsas detecções emitidas pelos sensores, que seriam por definição o fato do sensor detectar um obstáculo sem que ele realmente esteja ali, ou até mesmo a não-detecção de um objeto existente e que esteja ao seu alcance. Isso acontece muitas vezes devido ao cone de detecção do sensor ultrassônico, pois "a construção do sensor faz com que o feixe ultrassônico seja emitido em forma de cone e somente objetos dentro do raio desse cone podem ser detectados" (SENSE, p. 2). A Figura 3 ilustra o que é este cone de detecção (em laranja) diante de um alvo, que seria um obstáculo cujo sensor pudesse detectar.

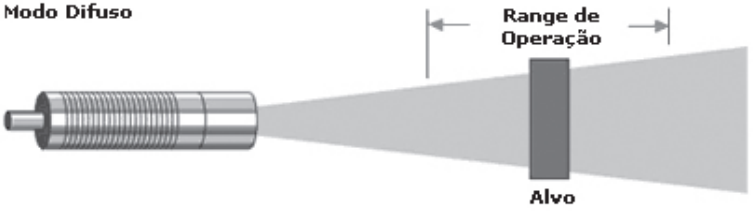


Figura 3 — Modo de detecção dos sensores ultrassônicos

Fonte: http://www.automatizesensores.com.br/imagens/sensores_ultrasonicos_siemens.gif

Com isso, devido aos testes realizados, descobriu-se que fazem parte das falsas detecções alguns elementos, tais como quinas em geral e objetos passageiros, como, por exemplo, pessoas que passem muito rápido no raio de alcance destes sensores, o que não seria capaz de gerar a detecção exatamente pelo fato do desvio do alcance do sensor ultrassônico, que seria justamente o seu cone de detecção. Porém, percebeu-se também com a realização de testes que estas falsas detecções não atrapalhariam no envio da informação geral pelos sensores e, com isso, também não implicariam de forma decisiva na detecção, portanto não inviabilizando o uso destes sensores no desenvolvimento do protótipo.

O próximo passo realizado pelos sensores ultrassônicos é o envio da informação (detecção de cada reflexão de onda) para um microcontrolador. Nessa etapa, utilizou-se uma plataforma *open source* denominada Arduino.

A lógica de programação da atuação dos sensores habilita o envio de sinais aos atuadores do processo: os motores de vibração. No protótipo, estão dispostos três unidades destes motores, localizados na luva da bengala (lugar em que se localiza a mão do deficiente visual), onde: o motor no lado direito da luva corresponde ao sensor ultrassônico direcionado para o lado direito; o motor no centro corresponde ao sensor direcionado para frente; e, por fim, o motor no lado esquerdo da luva corresponde ao sensor ultrassônico direcionado para a esquerda. Desta forma, há uma vibração instantânea na mão do deficiente visual acaso haja algum obstáculo em sua direção, seja qual for ela, podendo haver vibrações simultâneas por diferentes motores acaso haja obstáculos em diferentes direções.

Porém, o padrão de vibração destes motores, ajustado na programação permite que quanto mais perto estiver um obstáculo, mais forte seja a intensidade de vibração recebida, possibilitando ao portador da bengala uma distinção entre qual direção há obstáculos e qual direção não há. Em relação ao sensor ultrassônico que protege a cabeça do deficiente visual, cujo está levemente inclinado para cima, há uma maior preocupação com estes tipos de obstáculos para uma melhor proteção do deficiente. Pensando nisso, o padrão de vibração correspondente ao sensor que realiza este tipo de detecção é o mais intenso possível: com os três motores vibrando ao mesmo tempo e em mesma intensidade.

Em relação aos materiais utilizados, a Figura 4 apresenta uma simplificação da matriz morfológica que demonstra a relação dos componentes utilizados no projeto e as opções que foram analisadas, destacando-se em amarelo os componentes e dispositivos selecionados.

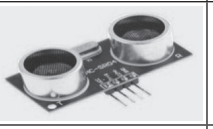
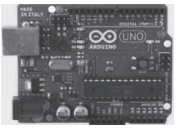
Dispositivos	Opções avaliadas		
Bengala			
Sensores			
Motores			
Microcontrolador			

Figura 4 — Matriz morfológica: componentes x opções avaliadas.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Para a escolha do tipo da bengala foi considerado o aspecto físico, que se adequava às modificações que seriam feitas para produzir o protótipo da Bengala Automatizada para Detecção de Obstáculos. Já os sensores ultrassônicos foram utilizados por terem uma ótima precisão, numa ampla faixa de medição de distância. Os motores de vibração foram a melhor opção para que o portador da bengala sentisse de forma eficiente os sinais enviados pelo sistema de controle e a ergonomia da disposição ao longo do cabo da bengala. Já para o sistema de controle o microcontrolador Arduino foi escolhido por ser uma plataforma *open source* de baixo custo e com ótima eficiência.

No sistema de sensoriamento, foi utilizado um modelo de sensor ultrassônico cujo alcance máximo varia de 2 a 400 cm, medindo distâncias neste intervalo com uma ótima precisão. Porém, no projeto foi utilizada uma distância máxima de 70 centímetros, distância essa detectada a partir de testes como sendo suficiente para que o deficiente visual perceba a detecção do obstáculo a partir da vibração

dos motores e se redirecione, realizando o objetivo do projeto em não colidir com esses obstáculos. Com isso, os motores só iniciarão suas vibrações se a distância do objeto detectado for menor ou igual a setenta centímetros; para valores maiores que este, não há vibração. Na Figura 5, pode-se observar a variação da intensidade de vibração dos motores *versus* a distância medida pelos sensores.

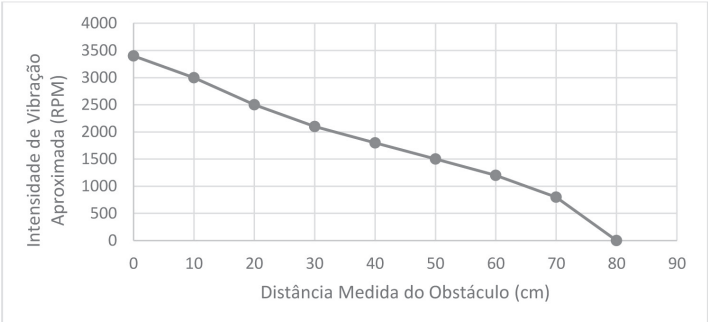


Figura 5 — Distância medida pelos sensores x Intensidade de Vibração

Fonte: Elaborado pelos autores.

A rotação máxima, em RPM, que os motores podem chegar a vibrar é de 12.000. Porém, foi avaliado que não se deveria adotar uma intensidade de vibração que pudesse causar incômodo ao usuário do protótipo, além da preocupação em evitar futuros problemas de saúde, pois de acordo com a norma ISO 5349 (INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION, 1979), o uso contínuo e habitual de muitas ferramentas vibratórias está associada a vários padrões de doenças que afetam os vasos sanguíneos, nervos, ossos, juntas, músculos ou tecidos conjuntivos da mão e do antebraço. Nesse sistema de alerta, que faz parte do sistema de controle, o Arduino recebe a leitura dos quatro sensores ultrassônicos e gera uma ação nos motores, somente quando a distância medida do obstáculo for menor ou igual que a distância especificada no projeto.

A Figura 6 apresenta os diversos modelos estudados de projeto para o primeiro protótipo da bengala, através de desenhos desenvolvidos no SolidWorks e as suas principais alterações mecânicas.

(a) (b) (c) (d) (e)

Figura 6 — (a) Primeiro projeto do protótipo; (b) Segundo projeto do protótipo; (c) Terceiro projeto do protótipo; (d) Quarto projeto do protótipo.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Para o desenvolvimento do projeto elétrico da bengala, o consumo da bateria foi medido para estabelecer a autonomia do protótipo. Com o sistema ligado sem detecção de obstáculos, o consumo é de 70 mA. Ao detectar um objeto na região da cabeça, sendo essa a situação mais crítica para o consumo de energia, o consumo do sistema passa a ser de 170 mA; logo, a estimativa média do consumo é de cerca de 120 mA. Utilizando uma bateria de 9 V alcalina que possui capacidade de 580 mAh, o fator de compensação é de 0,7; dessa forma, a bengala funcionará por aproximadamente 3,38 horas. A Figura 7 apresenta o circuito da bengala em forma de diagrama de blocos.

Como forma de otimizar o tempo de uso da bengala, implementamos um outro modelo de bateria: a de polímero de lítio de duas células que aumentou a autonomia da bengala para sete horas.

Atualmente, busca-se reduzir as dimensões da bateria para diminuir o peso e adequá-las as novas dimensões da bengala.

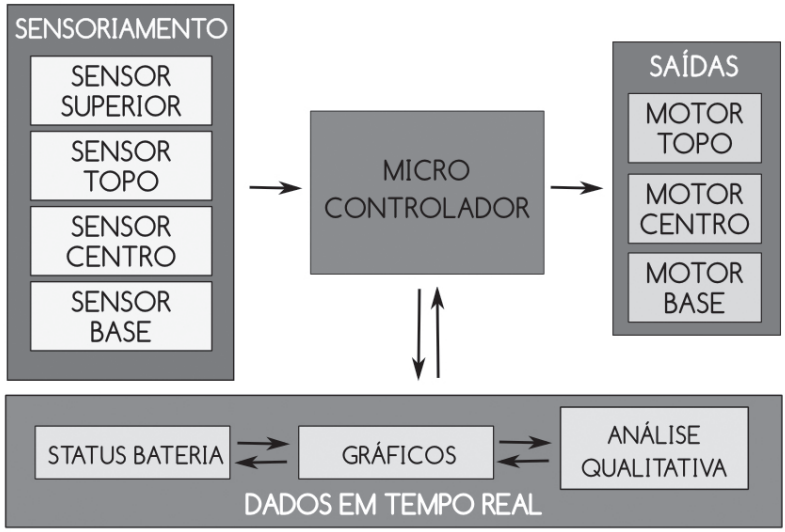


Figura 7 — Circuito da Bengala Automatizada em Diagrama de Blocos.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Dessa forma, os resultados obtidos com a primeira versão do protótipo foram alcançados de acordo com as metas traçadas inicialmente. Para avaliar a aceitação, o protótipo foi apresentado a diversos deficientes visuais, que expuseram suas opiniões e forneceram algumas sugestões que estão sendo analisadas e implantadas na nova versão, como resultado de um processo de realimentação com o público alvo. Com isso, pretende-se expandir cada vez mais a divulgação do protótipo, para que pessoas com algum tipo de deficiência visual cheguem a fazer o uso nas suas atividades diárias.

CONCLUSÃO

O projeto da Bengala Automatizada para Detecção de Obstáculos contribui de forma efetiva para a melhora do estilo de vida de deficientes visuais, pelo fato de otimizar as suas atividades diárias ao identificar os obstáculos à sua volta, livrando de colisões graves. Além

disso, com esse protótipo, baseado em tecnologia assistiva, pretende-se implementar outros sistemas que aumentem a sua eficiência, como por exemplo, instalação de um sistema de localização. Dessa forma, a viabilização de dispositivos que atendam às necessidades de pessoas com uma determinada deficiência se torna necessária, através de tecnologias assistivas que priorizem o bem-estar e o conforto desses cidadãos com o propósito de incluí-los, cada vez mais, nos diversos âmbitos sociais.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Portaria nº 142, de 16 de novembro de 2006. **Diário Oficial da União**, Brasília, 15 nov. 2006. Disponível em: <https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwitrIPx75vMAhWMF5AKHV0LCAcQFggcMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.centroruibianchi.sp.gov.br%2Fusr%2Fshare%2Fdocuments%2FF-POR142-NOV06.DOC&usg=AFQjCNHCxObcIngj11uEQ6JZN8tfprSD1Q&sig2=cSSg08NJ-NofdKsCrXoR3g&bvm=bv.119745492,d.Y2I>. Acesso em: 10 mar. 2016.

BRASIL. Decreto nº 6.949, de 25 de agosto de 2009. Promulga a Convenção Internacional sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência e seu Protocolo Facultativo, assinados em Nova York, em 30 de março de 2007. **Diário Oficial da União**, Brasília, 15 ago. 2009. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/decreto/d6949.htm>. Acesso em: 10 mar. 2016.

BRASIL. Secretaria de Direitos Humanos. **Deficiência, viver sem limite**: Plano Nacional dos Direitos da Pessoa com. Secretaria de Direitos Humanos da Presidência da República (SDH/PR) / Secretaria Nacional de Promoção dos Direitos da Pessoa com Deficiência (SNPD). VIVER SEM LIMITE — Plano Nacional dos Direitos da Pessoa com Deficiência. SDH-PR/SNPD, 2013. Disponível em: <http://goo.gl/vp9Q2G>. Acesso em: 11 jun. 2015.

CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION

— CDC. **Blindness and vision impairment**. fev. 2011. Disponível em: <http://www.cdc.gov/healthcommunication/ToolsTemplates/EntertainmentEd/Tips/Blindness.html>. Acesso em: 11 jun. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA — IBGE. **Censo Demográfico 2010**: características gerais de população, religião e pessoas com deficiência. 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/caracteristicas_religiao_deficiencia/caracteristicas_religiao_deficiencia_tab_pdf.shtm>. Acesso em: 08 jun. 2015.

INSTITUTO DE TECNOLOGIA SOCIAL — ITS BRASIL; MICROSOFT EDUCAÇÃO. **Tecnologia assistiva nas escolas**: recursos básicos de acessibilidade sócio-digital para pessoas com deficiência. Disponível em: <http://goo.gl/mwi5us>. Acesso em: 11 jun. 2015.

INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION — ISO. **ISO 5349**: Guide for evaluation of human exposure to whole-body vibration. 2. ed. 18 jul. 1979.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. **Institutos abrem horizontes a estudantes com deficiência**. Disponível em: <http://goo.gl/Yq91Ti >. Acesso em: 13 jun. 2015.

OLIVEIRA, R. M. M.; STOPPA, M. H. **Método para mapeamento do campo de atuação 3D de sensores ultrassônicos**. Goiás, 2014. Disponível em: <http://www.conhecer.org.br/enciclop/seminario/Metodo%20para%20mapeamento.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2015.

PINTO, P. **Tecnologias assistivas no Brasil**. Disponível em: <http://goo.gl/r9UzCG >. Acesso em: 11 jun. 2015.

SÁ, E. D. de; CAMPOS, I. M. de; SILVA, M. B. C. **Atendimento educacional especializado**: deficiência visual. Ministério da Educação. Secretaria de Educação a Distância. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seesp/arquivos/pdf/aee_dv.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2015.

SANTOS, D. R. de G. et al. **Desenvolvimento de uma bengala eletrônica para locomoção de pessoas com deficiência visual**. Paraíba, 2010. Disponível em: <http://www.abcm.org.br/anais/conem/2010/PDF/CON10-0608.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2015.

SENAI. **Inclusão, acessibilidade, tecnologia assistiva, educação profissional, mercado de trabalho e desenvolvimento**. s.d. Disponível em: <http://goo.gl/eexLN1>. Acesso em: 14 jun. 2015.

SENSE. **Manual de instruções**: sensor ultrassônico analógico US1300-30GX98-AN-J-V1. s.d. Disponível em: <http://www.sense.com.br/arquivos/produtos/arq2/Sensores_Ultrass%C3%B4nicos_US1300_AN_Manual_Instala%C3%A7%C3%A3o_Rev_A.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2016.

WENDLING, M. **Sensores**. Guaratinguetá, SP, 2010. Disponível em: <http://www2.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/ProfMarceloWendling/4---sensores-v2.0.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2015.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. **Visual impairment and blindness**. 2014. Disponível em: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs282/en>. Acesso em: 11 jun. 2015.

Capítulo IV

AVALIAÇÃO DA TECNOLOGIA APLICADA À SAÚDE EM SISTEMAS DE AR MEDICINAL E VÁCUO

Claudio Reynaldo Barbosa de Souza
Hugo Antonio Nunes Silva
Betina Soares Batalha

AVALIAÇÃO DA TECNOLOGIA APLICADA À SAÚDE EM SISTEMAS DE AR MEDICINAL E VÁCUO

A Avaliação da Tecnologia em Saúde (ATS) consiste em um recurso que visa manter a confiabilidade de sistemas e equipamentos principalmente quando em uso. Este capítulo é fruto de trabalho de pesquisa desenvolvida em hospitais da Rede Própria da Secretaria de Saúde do Estado da Bahia (SESAB). Todas as atividades ATS em uso foram baseadas na Norma NBR 12188, que trata especificamente Sistemas Centralizados de Oxigênio, Ar Medicinal, Óxido Nitroso e Vácuo para uso medicinal em Estabelecimentos Assistenciais de Saúde (EAS). São apresentados de modo sintético os elementos constituintes dos sistemas de ar medicinal e vácuo utilizados nos estabelecimentos assistenciais de saúde, acompanhados de uma discussão sobre os aspectos relacionados a criticidade e confiabilidade dos componentes. Como se trata de um trabalho de pesquisa são apresentados os critérios para a escolha dos estabelecimentos de saúde e nas conclusões um quadro geral da situação encontrada. A avaliação da tecnologia em saúde reveste-se de importância na medida em que estes elementos, operando de modo sistêmico, influenciam a segurança e eficiência de tratamentos e cuidados aos pacientes que utilizam os diversos serviços de saúde.

INTRODUÇÃO

Todos os Estabelecimentos Assistenciais de Saúde (EAS) necessitam para seu pleno funcionamento de operacionalização de centrais de suprimento que devem ser compostas por equipamentos e sistemas que garantam o abastecimento de ar medicinal e vácuo de maneira contínua. Os gases medicinais, por serem utilizados no ambiente

hospitalar, devem receber tratamento especial, possuindo especificações mais rigorosas do que os gases utilizados na indústria. Um dos gases mais importantes no ambiente hospitalar é o ar comprimido medicinal, que pode ser adquirido em cilindros. O uso potencial do ar comprimido em hospitais é amplo e se dá, entre outras maneiras, no transporte de substâncias medicamentosas para pacientes por via respiratória, como fração gasosa na ventilação mecânica, na movimentação dos equipamentos, como agente de secagem e limpeza, como fonte de vácuo do princípio do venturi etc.

Já os sistemas de geração de vácuo clínico, operam de modo semelhante às centrais de compressores de geração de ar comprimido medicinal, entretanto trabalham de forma contrária, retirado ar da linha de distribuição, deixando assim a pressão inferior à atmosférica.

Estes sistemas são um dos primeiros elementos a serem montados e postos em funcionamento nos EAS. Devido a sua importância, eles operam continuamente e uma falha em qualquer um dos insumos pode trazer graves prejuízos aos pacientes. Considerando o desgaste natural dos componentes dos sistemas e a obsolescência, precisa-se atentar para uma avaliação permanente destas tecnologias, garantindo assim uma maior confiabilidade e segurança operacional.

Os sistemas gases medicinais é normatizado pela NBR 12188, que trata especificamente dos "Sistemas centralizados de oxigênio, ar, óxido nitroso e vácuo para uso medicinal em estabelecimentos assistenciais de saúde". Mesmo considerando a criticidade destes sistemas, em pesquisa realizada em Hospitais da Rede própria da Secretaria de Saúde do Estado da Bahia, constatou-se que, algumas unidades de saúde não possuíam conhecimento sobre a norma e, portanto não cumprem o que é previsto, nem o que é necessário para que o fornecimento destes insumos se mantenha constante e confiável.

O capítulo é dividido em sessões. O capítulo apresenta os elementos constituintes dos sistemas de fornecimento de ar comprimido medicinal e vácuo hospitalar, enfocando aspectos relacionados à criticidade e confiabilidade dos sistemas. Nas conclusões, é apresentado, de

modo geral, o cenário encontrado nos EAS avaliados, nos aspectos referentes às tecnologias e algumas recomendações para correções.

CRITICIDADE E CONFIABILIDADE DOS SISTEMAS DE AR MEDICINAL E À VÁCUO EM HOSPITAIS

A central de gases de uma rede hospitalar é o sistema responsável pela distribuição correta dos gases medicinais, produtos que alimentam equipamentos medicinais, os Equipamentos Médico-Hospitalares (EMH) e são administrados para pacientes ou utilizados em procedimentos médicos. Além deste sistema encontram-se sistemas de vácuo que também apresentam grande importância nas unidades de saúde.

Diversos fatores influenciam a distribuição dos gases medicinais, sendo que estes apresentam níveis de criticidade variados, o que significa que, certos elementos que compõem esse sistema interferem diretamente na entrega desses produtos para a rede de distribuição do hospital, enquanto que outros interferem indiretamente, ou não interferem.

Como especificado na norma, a NBR 12118 (Sistemas centralizados de oxigênio, ar, óxido nitroso e vácuo para uso medicinal em estabelecimentos assistenciais de saúde), que foi a norma guia para a elaboração dessa análise. A Avaliação das Tecnologias em Saúde (ATS) visam dentre outras coisas a garantia das demandas das unidades de saúde.

A central de distribuição desses produtos é composta por diversos equipamentos, instrumentos, tubulações e válvulas. Os sistemas de abastecimento de ar comprimido medicinal e o sistema de vácuo hospitalar garantem a realização de procedimentos cirúrgicos, emergenciais, dentre outros. O sistema de ar medicinal pode funcionar de duas formas ou maneiras. Na primeira, o ar é retirado do próprio ambiente, através de um sistema de captação, passando por um processo de tratamento e controle ou pode ser obtido através da mistura de O_2 e N_2**,** que se encontram armazenados em tanques criogênicos

estacionários ou móveis. Essa mistura contém os gases na mesma proporção em que se encontram no ar do ambiente, aproximadamente 79% de nitrogênio e 21% de oxigênio. Esse ar sintético também passa por processos de tratamento, monitoramento e controle.

Quanto ao vácuo hospitalar, este pode ser produzido por bombas de vácuo, sendo que o ar exaurido deve passar por um sistema de tratamento antes de ser descartado para o ambiente.

ELEMENTOS BÁSICOS CONSTITUINTES DOS SISTEMAS. CONCEITOS

Ar medicinal: É obtido a partir do próprio ar do ambiente ou a partir da mistura de oxigênio e nitrogênio. É utilizado para aplicações ou tratamentos que requerem uma atmosfera pura, isenta de poeiras e microrganismos. Também pode ser usado para conduzir medicamentos, através de inalações. O ar, gerado a partir dos gases O_2 e N_2**,** chamado de sintético, é obtido pela mistura desses gases. É necessário que as fontes desses gases cumpram as especificações compatíveis com o uso medicinal.

Oxigênio medicinal (O_2): O oxigênio é um gás incolor, inodoro e altamente oxidante. É utilizado em anestesias, reanimações cardiorrespiratórias, como terapia profilática ou curativa para diversos tipos de doenças e na administração de medicamentos através de inalações e/ou nebulizações. É fornecido na forma gasosa, em cilindros de aço, de alta pressão, até 200 Kgf/cm² e também na forma líquida para altos consumos (tanques criogênicos) a uma temperatura aproximada de -183° C (graus Celsius). Antes de ser inalado pelo paciente o oxigênio líquido é vaporizado, transformando-se em gás.

Nitrogênio medicinal (N_2): O nitrogênio é um gás inerte que pode ser disponibilizado em diversos graus de pureza dependendo da aplicação. De acordo com a NF USA (*National Formulary*) este deve possuir: 99% de pureza e oxigênio ≤1%.

É utilizado em misturas gasosas (como no caso do ar medicinal). No estado líquido é usado em procedimentos criogênicos e conservação

de esperma, células embrionárias e órgãos para transplante. Pode ser fornecido em cilindros na forma gasosa com pressão que variam entre 120 e 190 kgf/cm² ou na forma líquida à temperatura de -196°C.

Vácuo: O vácuo hospitalar é gerado por meio de bombas, denominadas bombas de vácuo. A Central Geradora de Vácuo deve possuir um sistema de monitoramento contínuo das principais variáveis e parâmetros envolvidos na operação destes equipamentos, sendo que o mesmo deve ser instalado em local de fácil acesso e visualização. Idealmente, é importante que existam alarmes que sejam capazes de informar problemas eventualmente ocorridos com os equipamentos. Além disso, é ideal que exista um sistema que alterne automaticamente o funcionamento das bombas a períodos pré-determinados, para garantir o desgaste por igual de cada uma delas.

O sistema deve contar com válvulas e dispositivos que permitam o isolamento de uma seção do sistema sem interrupção ou comprometimento do funcionamento das demais partes, a exemplo dos filtros, utilizados para a desinfecção do ar expirado, com capacidade suficiente para que possam ser utilizados sem interromper o fluxo ou restringir o vácuo necessário ao funcionamento eficiente do sistema.

Compressor para ar comprimido medicinal: O ar para ser considerado medicinal, requer a utilização de compressor que seja isento de óleo, para evitar que partículas contaminem o ar, o que impossibilitaria seu uso no ambiente hospitalar. O compressor é um equipamento dinâmico que aumenta a pressão de um produto gasoso. Esse gás é distribuído pela unidade de saúde através de tubulações. O ideal é termos mais de um compressor compondo o sistema, ou seja, que exista uma redundância, aumentando assim a segurança operacional, caso aconteça alguma falha ou dano com o compressor principal.

Válvulas: As válvulas são dispositivos instalados nas tubulações que apresentam diversas finalidades no processo de distribuição de ar comprimido medicinal ou no sistema de vácuo hospitalar. Assim as válvulas podem controlar a pressão do sistema (válvulas regula-

doras de pressão), proteger o sistema de sobre pressão (válvulas de segurança de pressão), isolar trechos de tubulações ou ramais (válvulas de bloqueio), permite o bloqueio de fluxo do gás e do vácuo quando há desconexão de acessórios nos pontos de utilização (válvula autovedante) ou ainda impedir o retorno de produto por uma tubulação (válvulas de retenção). Assim encontram-se válvulas de bloqueio entre o bloco central e cada bateria de cilindros e outra válvula de bloqueio imediatamente após cada válvula reguladora de pressão. Essa válvula (reguladora de pressão) deve manter a pressão do sistema constante independente da vazão do ar comprimido medicinal. Nessa válvula, são instalados manômetros (indicadores de pressão) à montante (antes), para indicar a pressão de cada bateria de cilindros e à jusante (depois), para indicar a pressão da rede. Devem ser instaladas ainda válvulas de segurança de pressão para proteger o sistema e os usuários no caso da falha do sistema de regulagem de pressão. As válvulas de seção devem ser instaladas em local acessível e devidamente sinalizadas para que, em casos de emergência, possam ser operadas com rapidez.

Pressostatos: São chaves de pressão que atuam com duas possibilidades, normalmente aberto ou normalmente fechado. Este instrumento pode ser empregado para sistemas de alarme indicando sob ou sobre pressão do sistema. Acoplados a sistemas de alarme permitem o monitoramento da variável pressão de modo preciso, desde que adequadamente calibrados. No caso dos pressostatos com contatos normalmente abertas (NA), significa que estes fecham quando a pressão atingisse o valor de pressão ajustado, e que pode indicar uma situação indesejada ou inadequada para o sistema.

Central de Suprimentos com cilindros: Conjunto de cilindros que armazenam gases da unidade de saúde. Cada bateria de cilindros deve estar conectada a uma válvula que regula a pressão, de estocagem, para a pressão de distribuição, além de ser capaz de manter a vazão máxima do sistema centralizado, de forma que o fornecimento seja contínuo. Esta central deve contar com um manômetro instalado à montante, para indicar a pressão de cada bateria de cilindros, e

outro à jusante para indicar a pressão na rede. Deve também ser instalada uma válvula de segurança de pressão, que esteja devidamente regulada para abrir com uma pressão sempre superior à pressão de distribuição e inferior a 942 kPa (9,6 kgf/cm²), logo após a válvula reguladora de pressão e antes da válvula de bloqueio. A válvula de alívio de pressão deve ser instalada de maneira que o escapamento esteja direcionado e se dê para o ambiente externo, evitando o risco de acidentes dos transeuntes que estejam próximos. É exigido, por norma também, uma bateria reserva de cilindros, e uma a central reserva, para garantir a continuidade do suprimento, fornecendo gás à rede sem interrupção. Seu dimensionamento deve ser feito em função da necessidade de consumo ou do consumo máximo provável e das variáveis de distribuição do fornecedor. Cada bateria de cilindros deve estar conectada a uma válvula reguladora de pressão para manter a vazão máxima de forma contínua, caso haja a necessidade de sua atuação, que reduza sua pressão de estocagem para a de distribuição, sempre inferior a 785 kPa (8 kgf/cm²). Do mesmo modo que a central de suprimento, a bateria reserva também deve possuir manômetros à montante e à jusante, pelos mesmos motivos apresentados, assim como a válvula de segurança de pressão. Os cilindros que compõem as centrais devem estar devidamente fixados a fim de evitar quedas ou choques e os que estiverem fora do uso devem permanecer com o capacete de proteção das válvulas acoplado. Esses cilindros devem estar devidamente identificados os cilindros cheios e vazios.

Central de suprimentos com tanque estacionário: A distribuição ocorre a partir de um tanque que armazena os gases ou misturas do processo. Nas centrais de suprimento com tanque deve ser instalada uma válvula reguladora de pressão na fase gasosa (após o vaporizador), antes da conexão do suprimento reserva capaz de reduzir a pressão de estocagem para a pressão de distribuição, sempre inferior a 785 kPa (8 kgf/ cm²), e capaz de manter o fornecimento contínuo. Deve ser instalada uma válvula de segurança de pressão regulada para abrir a uma pressão sempre superior à de distribuição e inferior

à 942 kPa (9,6 kgf/cm²), imediatamente após a válvula reguladora de pressão e antes da válvula de bloqueio.

Central de suprimento com compressores: A central de suprimentos deve conter um ou mais compressores, sendo um primário e o outro secundário. O secundário deve ser capaz de trabalhar com capacidade equivalente ao primeiro, de forma alternada ou em paralelo, acionado tanto manualmente quanto automaticamente. A sucção dos compressores deve se localizar a uma distância mínima de 3m das centrais de oxigênio, de sistemas de exaustão como fornos, motores de combustão e exaustão de ventilação e de revolvimento de entulhos/lixos e outros, para garantir que a captação do ar esteja livre de qualquer contaminação. O ponto de captação de ar deve estar a uma distância mínima de 16 m da descarga da bomba de vácuo, quando o sistema de alimentação não possuir um sistema de desinfecção de ar. Os compressores devem conter disjuntores, dispositivos de partida de motor com proteção contra sobrecarga, revezamento manual e automático das unidades e ativação automática do compressor secundário no caso de haver queda de pressão do primário. Os pós-resfriadores de ar comprimido, os secadores e os filtros devem ser instalados em cada conjunto de compressores, com arranjo de válvulas, de forma a permitir o isolamento de cada conjunto, para manter a continuidade de operação do sistema se houver falha em um conjunto em serviço.

Sistema de Filtragem: O ar medicinal precisa passar por um processo de purificação antes de entrar em contato com os pacientes e ser utilizado nos EAS. O ar gerado, que é o ar retirado do próprio ambiente, deve passar por um processo de tratamento para se enquadrar nas especificações desejadas de uso. É feita a remoção de particulados e materiais dispersos. Geralmente, os sistemas de filtragem são compostos por filtros H.E.P. A (filtros de alto desempenho com retenção de até 99,97% de material particulado de até 0,3 micra (μm)). Os filtro**s** ou dispositivos de purificação devem manter o ar nas seguintes condições, de acordo com a norma: $\mathbf{N_2}$: Balanço; $\mathbf{O_2}$: 20,4% a 21,4% v/v de Oxigênio; **CO**: 5 ppm máximo; $\mathbf{CO_2}$: 500

ppm máximo; **SO_2**: 1 ppm máximo; **NOx**: 2 ppm máximo; Óleos e partículas sólidas: 0,1 mg/m³ máximo; e **Vapor de água**: 67 ppm máx. (Ponto de orvalho: — 45º C, referido a pressão atmosférica).

Sistema de Secagem: No sistema de secagem, é feita a remoção da água em forma de condensado. Esse processo geralmente é realizado em duas etapas: uma com a utilização de um secador de ar por refrigeração e outra com um secador por adsorção ou supressão, caracterizando uma secagem dupla. O processo de secagem tem por objetivo evitar a proliferação de micro-organismos no sistema de ar comprimido (reservatórios, tubulações e filtros). É realizada a remoção de hidrocarbonetos (névoa e gases) que o sistema não conseguiu reter durante a pré-filtragem). Esse processo é feito por meio de filtros de carvão ativado. A remoção de monóxido de carbono (CO) é realizada por catalisadores. Uma das formas de secagem mais utilizadas é a do método de adsorção. O secador de ar por adsorção é constituído por duas câmaras com dessecante. O dessecante pode ser de vários tipos, a escolha depende do ponto de orvalho desejado. Exemplos de dessecante são a sílica gel, o cloreto de cálcio, a alumina ativada ou peneira molecular. O dessecante possui maior atração pelo vapor de água do que pelo ar comprimido. Quanto maior a capacidade de retenção de água, menores são os pontos de orvalho que podem ser obtidos.

Sistema de vácuo: Deve ser operado com no mínimo duas bombas com capacidades equivalentes, e esse sistema deve funcionar de modo que 100% do consumo máximo provável possa ser mantido mesmo com o funcionamento de apenas um dos equipamentos. Devem estar instaladas em local com boa iluminação e fácil acesso para o pessoal autorizado. Deve haver um reservatório de vácuo em todos os sistemas de vácuo hospitalar, para que as bombas não operem continuamente sob baixa demanda. O sistema de vácuo clínico com coleta do produto aspirado só pode ser utilizado em um recipiente junto ao ponto de utilização. Deve haver também um sistema de alarme de emergência por sinal luminoso e sonoro, que alerte a queda do sistema de vácuo, abaixo de 26,64 kPa (200 mm Hg). Cada

posto de utilização de gás medicinal ou vácuo deve ser equipado com uma válvula autovedante, que é uma válvula para bloqueio automático e imediato da vazão dos gases/vácuo quando há desconexão de acessórios do ponto de utilização, e rotulado de forma legível com o nome ou abreviatura, símbolo e cores para identificação. Na central de vácuo, devem ser instalados, em paralelo, dois filtros bacteriológicos para desinfecção do ar que será liberado para a atmosfera, exceto nos casos de sistemas de vácuo providos de outros sistemas de desinfecção do gás aspirado na rede e a ser exaurido. Cada filtro deve ter uma capacidade de retenção de partículas acima de 0,1m m. Sua montagem deve ser feita de modo que a troca dos mesmos seja feita de maneira simples e segura. A utilização do "sistema Venturi" para geração de vácuo só é permitida quando acoplada a um sistema de filtro que impeça a contaminação do ambiente. A descarga da central de vácuo deve ser obrigatoriamente dirigida para o exterior do prédio, com o terminal voltado para baixo, devidamente telado, preferivelmente acima do telhado da central de vácuo e das construções vizinhas e localizado a uma distância mínima de 3,0m de qualquer porta, janela, entrada de ar ou abertura do edifício. Uma placa de sinalização de atenção e risco deve ser adequadamente colocada próxima ao ponto de descarga do vácuo. A capacidade do reservatório deve estar relacionada com a capacidade das bombas. Os sistemas de vácuo devem prever, para seu funcionamento eficiente, dispositivos de drenagem e limpeza dos reservatórios de vácuo. O dreno e os filtros podem estar integrados.

Alarme e monitoração: Os alarmes são dispositivos audiovisuais que indicam ocorrências anormais que exigem intervenção, devendo ser instalados de maneira que sua visualização seja acessível e seu aviso sonoro, audível. Essa visualização deve ser constante e adequada aos EAS. Os painéis de alarme devem possuir identificação precisa e devem ser alimentados por rede elétrica, devendo ter sua alimentação chaveada automaticamente pela fonte de emergência autônoma do próprio alarme ou do estabelecimento de saúde em no máximo 15s em caso de falta de suprimento de energia elétrica. **Tipos de**

alarme: (A) Alarme operacional — Indica alterações em nível de operação dos processos ex.: troca do suprimento primário para o secundário. Exige atuação da equipe técnica, devendo ser sonoro e visual. (B) Alarme Emergencial — Indica alterações que influenciam diretamente o funcionamento eficiente do sistema ex.: valor mínimo na pressão de distribuição atingido. Exige atuação da equipe de saúde, independe da existência de alarmes operacionais, deve ser de fácil identificação.

Rede de distribuição: As tubulações são os elementos que possibilitam que os produtos das centrais de ar medicinal e vácuo alcancem os pontos de utilização dentro dos hospitais. Essas tubulações para gases e vácuo não devem ser apoiadas em outras tubulações, devem ser sustentadas por ganchos, braçadeiras ou suportes apropriados. As tubulações embutidas devem ser protegidas contra danos como a corrosão entre outros. Os tubos, as juntas e as conexões devem ser fechados de forma que pó, óleos ou outras substâncias combustíveis, não penetrem em seu interior até o momento da montagem final. É recomendável uma manutenção periódica nesse sistema de distribuição, pois obstruções podem acarretar na interrupção do fornecimento dos produtos desejados.

Filtros bacteriológicos: Devem ser instalados, em paralelo, dois filtros para desinfecção do ar, que é liberado para a atmosfera, no caso das centrais de vácuo, a fim de minimizar impactos ambientais. A localização e a capacidade dos filtros devem garantir que o mesmo seja utilizado sem interromper ou restringir o vácuo necessário ao funcionamento eficiente do sistema. Filtros são necessários também para o tratamento do ar comprimido medicinal que vai ser distribuído, a fim de garantir condições mínimas de utilização dentro dos padrões normativos.

Sistema de Intertravamento: É um sistema de segurança que interrompe o funcionamento de certo sistema, se este atingir níveis indesejáveis a ponto de serem nocivos aos operadores, outros indivíduos e ao próprio sistema.

INTEGRAÇÃO DOS ELEMENTOS CONSTITUINTES DOS SISTEMAS

Ar medicinal gerado: O sistema de ar gerado é composto por compressores isentos de óleo, reservatórios, sistemas de filtragem e secagem do ar, analisadores de gases, sistema de intertravamento. O ar gerado, que é o ar coletado do próprio ambiente, passa por um tratamento para se enquadrar nas especificações desejadas de uso. É feita a remoção de particulados e materiais dispersos, indesejáveis para o funcionamento do sistema. Geralmente os sistemas de filtragem são compostos por filtros de alto desempenho com retenção de até 99,97% de material particulado de até 0,3 micra (μm). É feita a remoção da água em forma de condensado, num processo geralmente feito em duas etapas: uma de refrigeração com a utilização de um secador de ar e outra com um secador por adsorção ou supressão, caracterizando uma secagem dupla. A secagem tem por objetivo evitar a proliferação de micro-organismos no sistema de ar comprimido (reservatórios, tubulações e filtros) pela retirada do material particulado indesejável. É realizada a remoção de névoa, gases com partículas líquidas, e gases que o sistema não conseguiu reter durante a pré-filtragem. Esse processo é feito com filtros de carvão ativado. A remoção de monóxido de carbono (CO) é realizada por catalisadores, substâncias responsáveis por aumentar a velocidade das reações químicas. Analisadores eletrônicos dos parâmetros da qualidade do ar ajudam a prever defeitos e falhas nos sistemas de purificação do ar, através da comparação de uma amostra do processo com uma amostra de referência.

Ar medicinal sintético: O sistema de ar sintético é composto por compressores, sistema de mistura, reservatórios de oxigênio e nitrogênio, intertravamento, alarmes, analisador de gases. O ar medicinal sintético é obtido através da mistura de dois gases, na proporção em que se encontram na atmosfera. O oxigênio (O_2) e o nitrogênio (N_2) encontram-se armazenados em vasos de pressão. São misturados através de um sistema que garante a proporcionalidade dos gases. O ar sintético passa por um analisador que compara sua composição com outro gás de referência e alarma se sua composição não estiver

satisfatória, ativa o sistema de intertravamento se a composição atingir níveis nocivos à saúde humana alarma também se a pressão na rede atingir o valor mínimo estabelecido.

Vácuo hospitalar: O sistema de vácuo clínico é composto por bombas de vácuo, reservatório de vácuo, controlador, válvulas de bloqueio, filtro bacteriológico, sistema de drenagem, funil coletor, visor de nível, serviço principal de vácuo, válvulas de retenção, mangueiras, pressostatos. As bombas possuem um sistema composto por válvulas de bloqueio, retenção e chaves. Produzem o vácuo, que é armazenado no reservatório. O reservatório possui sistema de drenagem e um controlador que compara as características do vácuo obtido com o vácuo desejado e age sobre o sistema. Antes de ser distribuído, o vácuo passa por filtros bacteriológicos que tem por objetivo manter o produto nas especificações desejadas.

CRITICIDADE X CONFIABILIDADE. UMA ANÁLISE CONJUNTA

Em qualquer processo é possível definir elementos dos quais o sistema depende para que seu funcionamento mínimo desejado seja garantido. Esses elementos possuem graus de criticidade diferenciados, ou seja, certas partes são mais críticas, no sentido de que agem diretamente sobre o processo, enquanto que outras agem sobre esses elementos críticos e de forma mais indireta sobre o processo. Estabelecendo um paralelo com a criticidade, acompanha um grau de confiabilidade necessária para as partes que garantem o funcionamento dos instrumentos e equipamentos do sistema.

Nos sistemas de alimentação de vácuo e ar medicinal nos EAS, esses elementos mais críticos podem ser considerados como aqueles que, em caso de mau funcionamento, provocam a parada do suprimento desses produtos, o que se configura como uma situação de grau muito alto de criticidade, já que a rede de distribuição que atende pacientes, médicos, técnicos, deixaria de funcionar e poria em risco pessoas e procedimentos. A falta de manutenção em alguns instru-

mentos/equipamentos e sistemas, por outro lado, não caracterizaria a parada do suprimento, porém, poderia acarretar na diminuição da qualidade dos produtos, produtos que são administrados em pacientes, o que coloca essa situação em grau alto de criticidade.

A confiabilidade se aplica também nas regras estabelecidas por norma (NBR12188) a serem seguidas. Para um funcionamento eficiente do suprimento de oxigênio por cilindros, por exemplo, é necessário que haja uma bateria reserva para que o suprimento e que essa bateria esteja em condições especificadas na norma. Nesse sentido, a confiabilidade do cumprimento dessas especificações é alta, já que envolve o suprimento de oxigênio, que também é administrado posteriormente em pacientes. Segue uma análise detalhada dos elementos que compõem cada parte dos sistemas, com relação ao nível de criticidade e confiabilidade.

Sistema de Vácuo:

Tubulações: Elementos que possibilitam a distribuição do vácuo. Sua manutenção tem grau alto de criticidade, pois, no caso de perfurações, a pressão do vácuo sofrerá diminuições que retirarão o produto da faixa de especificações desejada. Se forem obstruídas de alguma forma, impedirão o fornecimento de vácuo. A confiabilidade na manutenção do espaço e das mangueiras é alta, para evitar obstruções.

Bomba de vácuo: Equipamento que gera o vácuo para o reservatório. A redundância da bomba, ou seja, uma segunda bomba disponível, é de alto grau de criticidade, inclusive, é exigida por norma, pois permite que o fornecimento seja contínuo e que nenhuma das duas bombas fique sobrecarregada. A manutenção das bombas é de grau muito alto de criticidade por afetar diretamente no fornecimento de vácuo para o sistema. A manutenção deve possuir alto grau de confiabilidade por afetar diretamente o processo.

Reservatório: O reservatório comporta o vácuo produzido pelas bombas e provém o produto para o hospital através das tubulações de distribuição. Sua manutenção é essencial para permitir a atuação

do vácuo nos procedimentos hospitalares. Possui grau alto tanto de criticidade quanto de confiabilidade.

Válvulas de bloqueio: Dispositivos que impedem o fluxo de gases ou vácuo. Sua manutenção se caracteriza com graus altos de criticidade e confiabilidade, pois o mau funcionamento pode significar interrupção no fornecimento de vácuo.

Filtros bacteriológicos: Dispositivos necessários à jusante da câmara de vácuo, para reter aerossóis liberados no processo de aspiração. Sua utilização dispensa o uso de agentes bactericidas químicos, como o cloro e o ozônio, que podem causar danos ambientais ou acidentes de trabalho, durante o seu manuseio. Tem grau alto de criticidade e confiabilidade por estarem diretamente ligados à qualidade do produto fornecido.

Descarga da bomba de vácuo: Deve seguir a norma e ser devidamente instalada para o exterior, a fim de evitar riscos e contaminações de operadores. A manutenção da descarga possui grau médio de criticidade, pois, se instalada devidamente, não deve oferecer riscos, apenas devem-se observar obstruções.

Drenagem: Processo feito por meio de sifões e válvulas manuais. Garante a limpeza e o escoamento do reservatório de vácuo, possibilitando a continuidade do serviço proposto. Grau alto de criticidade e confiabilidade por interferir diretamente no suprimento de vácuo hospitalar.

Sistema de Ar Medicinal:

Central de suprimento com Cilindros / Bateria de Cilindros: A bateria de cilindros comporta o gás ou a mistura de gases. O cumprimento da norma, em relação à disposição desses cilindros no armazenamento e ao cuidado com o fechamento desses cilindros, se mostra de criticidade alta, pois põe em risco os operadores e o próprio funcionamento eficiente dos cilindros, o que poderia interromper o suprimento. A redundância dessa bateria de cilindros se mostra es-

sencial para que o fornecimento seja contínuo e garantido, por meio de uma reserva.

Central de Suprimentos com Tanque Estacionário ou Móvel:

Tanque estacionário ou móvel: Equipamento responsável por armazenar gases ou misturas de gases do processo. Sua manutenção possui criticidade de nível muito alto, pois seu produto é administrado em pacientes, além de outros procedimentos, e deve se enquadrar num padrão de especificações desejado. A confiabilidade dessa manutenção, em paralelo, deve ser muito alta também, por afetar diretamente na qualidade do produto. Alguma falha poderia acarretar na interrupção do fornecimento, ao menos em tese, pois os profissionais de saúde não poderiam administrar produto fora das especificações da norma.

Central de Suprimento com Compressores:

Compressor: Equipamento responsável por conferir pressão aos gases ou misturas. Sua sucção deve estar afastada de sistemas de exaustão como fornos, motores de combustão e exaustão de ventilação e de revolvimento de entulhos/lixos, para garantir que a captação do ar seja a mais eficiente possível e o ar, o mais limpo possível. Nesse sentido, essa exigência possui grau médio de criticidade e alto de confiabilidade por afetar a qualidade do produto a ser entregue, mesmo que os gases ou mistura passem por processos de filtragem e secagem. A atuação do compressor secundário deve ser automática em caso de falha do primeiro, caso contrário, o suprimento seria interrompido, logo, a redundância do compressor e o funcionamento eficiente desse revezamento se configura com grau muito alto de criticidade e confiabilidade, por afetarem diretamente o suprimento hospitalar de ar medicinal.

Válvula Reguladora de pressão: Regula e reduz a pressão existente na central ou na rede de distribuição a uma pressão compatível

com a de utilização. Sua atuação é essencial para o funcionamento eficiente da distribuição de ar medicinal, seja ele gerado ou sintético. Nesse sentido, sua manutenção e sua calibração possuem grau muito alto de criticidade e confiabilidade. Falhas nessa etapa do processo acarretariam na interrupção do fornecimento do produto e possivelmente, danificaria instrumentos e equipamentos, pondo em risco o processo como um todo e seus envolvidos.

Válvula de Segurança de pressão: Permite a saída do gás para o exterior caso a pressão do sistema atinja níveis acima do estabelecido. Deve ser instalada de maneira que o escapamento esteja direcionado e se dê para o ambiente externo, evitando o risco de acidentes. Não atua de forma direta sobre o fornecimento de ar medicinal, logo, sua manutenção e sua calibração possuem níveis baixos de criticidade, porém sua confiabilidade deve ser alta pois há o risco de acidentes, que pode pôr em risco pessoas envolvidas ou não no processo, já que, em alguns hospitais, os tanques se localizam próximos ao fluxo de pessoas, mesmo respeitando a distância normativa.

Filtragem: São sistemas que promovem o tratamento do ar captado e/ou a ser distribuído pelo hospital. Seu funcionamento garante que o produto cumpra especificações normativas para fornecimento. A manutenção do sistema de filtragem é de alta criticidade, por afetar diretamente o suprimento. Um produto fora das especificações não poderia ser distribuído, ao menos teoricamente. Sua confiabilidade deve ser muito alta por afetar diretamente a qualidade do ar medicinal produzido para os EAS.

Secagem: São sistemas responsáveis pela retirada de partículas líquidas do produto. Assim como o sistema de filtragem, afeta diretamente a qualidade do produto, e por isso, deve possuir grau muito alto de confiabilidade, e grau alto de criticidade, por não afetar diretamente na distribuição do ar medicinal.

Analisadores: Instrumentos responsáveis por analisar, através de comparações, o ar produzido com uma amostra do ar ideal para o processo. Sua manutenção possui caráter crítico de grau médio e

confiabilidade de grau alto. Os analisadores afetam diretamente na qualidade do produto e indiretamente na distribuição do mesmo.

Sistema de Intertravamento: Sistema de segurança que garante a segurança do processo e de operadores caso certas variáveis se afastem de maneira crítica dos níveis desejados. Seu bom funcionamento possui grau de criticidade muito alto, assim como sua confiabilidade, mesmo sem afetar diretamente a distribuição do produto.

PESQUISA DE CAMPO: critérios para escolha dos hospitais avaliados

Para a realização da ATS, nos sistemas de ar comprimido medicinal e vácuo hospitalar foram escolhidas três unidades de saúde ligadas a Secretaria de Saúde do Estado da Bahia (SESAB). Dentre as diversas unidades de saúde existentes, surgiu a necessidade do estabelecimento de critérios que tornassem o trabalho significativo e atendesse aos objetivos propostos. Assim, foram elencados os seguintes critérios de escolha: (A) Serem hospitais ou unidades de saúde de referência no Estado da Bahia; (B) Possuírem atividades diversificadas dentro da rede de Saúde do Estado da Bahia; (C) Localização da unidade de saúde, e (D) Possuírem aproximadamente o mesmo tempo de inauguração e número de atendimento.

Buscou-se, com esses critérios, ter uma visão do estado da arte dos hospitais de grande porte, e que são considerados referências, já que duas das unidades inspecionadas são hospitais gerais.

A diversificação de atividades desenvolvidas, não excluiu o primeiro critério sendo que uma das unidades é uma maternidade, que devido a sua natureza torna-a diferenciada dos hospitais gerais. Objetivou-se na realização da avaliação, contemplar hospitais da capital (duas unidades) e do interior do estado. Por razões de logística, optou-se por trabalhar com uma unidade de saúde distante a um raio de 200 km da capital. Assim, pode-se traçar um quadro, se não fidedigno, mas o mais próximo possível da realidade da saúde no Estado da Bahia, pelo menos na Rede própria da SESAB. Por fim, a questão do

tempo de funcionamento e o porte os iguala nos aspectos referentes à tecnologia em uso, apesar das especificidades de cada um. Como se trata da avaliação dos sistemas de gases medicinais e vácuo clínico, os mesmos são exatamente os mesmos, independente da natureza do atendimento prestado.

RESULTADOS DA PESQUISA

Foram avaliados três hospitais da rede própria, e, em todos eles, constataram-se diversos problemas, relacionados principalmente ao não cumprimento da norma NBR 12188. Mais grave do que isso, é que os responsáveis pela manutenção apresentavam desconhecimento da mesma.

No que diz respeito ao sistema de ar comprimido medicinal, um aspecto que precisa ser considerado é que se o mesmo não for entregue nos pontos devidos com qualidade, dentro do que especifica as normas, muitos problemas podem surgir nos equipamentos, principalmente se considerarmos a quantidade de umidade acima do especificado. Daí a importância da avaliação da tecnologia dos equipamentos em uso, o que garante uma maior disponibilidade de equipamentos, o que reveste em ganhos para todos, pois menores serão os recursos disponibilizados para manutenção e compra de novos equipamentos, e ganhos para os pacientes que serão atendidos com um insumo — ar comprimido medicinal — que realmente terá uma eficiência e eficácia terapêutica, e não mais uma fonte de possíveis infecções ou problemas futuros.

Aliado a esse cenário, que inspira preocupação é o fato de que instrumentos, como manômetros, pressostatos e analisadores não possuíam registros de aferição e calibração. Dessa forma, não se pode afirmar se estes elementos estão funcionando de modo adequado, o que compromete a operação e segurança dos sistemas. No que diz respeito às válvulas de segurança, estas, em uma das unidades avaliadas, apresentavam a data de calibração expirada em mais de 24 meses. Isto demonstra como o desconhecimento pode ocasionar

interrupção no fornecimento dos insumos e até mesmo a segurança das instalações dos EAS.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os processos referentes às Avaliações de Tecnologias aplicadas a Saúde não devem ficar restritas a sistemas que envolvem maior grau de complexidade como os equipamentos de diagnósticos e terapêuticos. Os sistemas de apoio, como o relatado aqui, os sistemas de gases medicinais e vácuo clínico, evidenciam que cuidados devem ser tomados no acompanhamento de seus funcionamentos, garantindo o fornecimento de insumos dentro de padrões preestabelecidos. Além da garantia de continuidade operacional, o perfeito funcionamento desses sistemas evitam problemas em outros equipamentos e sistemas a eles interligados, a exemplo dos ventiladores pulmonares, que possuem suprimento de ar comprimido medicinal.

Recomenda-se fortemente que sejam implementados nos EAS um programa permanente de formação/capacitação de todo os que integram os quadros de manutenção e gerenciamento de equipamentos médicos hospitalares, garantindo assim que a ATS seja uma prática corriqueira e não uma ação desenvolvida esporadicamente.

AGRADECIMENTOS

Agradece-se a Secretaria de Saúde do Estado da Bahia que possibilitou a Avaliação das Tecnologias em Uso, e ao CNPq pelo apoio recebido.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS — ABNT. **NBR 12118**: sistemas centralizados de suprimento de gases medicinais, de gases para dispositivos médicos e de vácuo para uso em serviços de saúde. 4 jul. 2012.

BALBI, D. A. F. **Metodologias para a elaboração de planos de ações emergenciais para inundações induzidas por barragens**: estudo de caso: Barragem de Peti-MG. 2008. 336 f. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

CHAVES, C. R. **Curso de formação de operadores de refinaria**: instrumentação básica. Curitiba: Petrobras: UnicenP, 2002.

LEITE, V. O. **Produção local de oxigênio hospitalar**. 2006. 68 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) — Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2006.

LUCATELLI, M. V. **Proposta de aplicação da manutenção centrada em confiabilidade em equipamentos médico-hospitalares**. 2002. 286 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) — Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Universidade de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

NASH. **Bombas de vácuo e compressores de anel líquido para sistemas de filtração a vácuo**. 2007. Disponível em: <http://www.gdnash.com.br/>. Acesso em: 24 out. 2014.

Capítulo V

TEORIA DAS REDES PARA ESTUDOS NA ÁREA DE SAÚDE

Hernane Borges de Barros Pereira
Carlos César Ribeiro Santos
Marcelo do Vale Cunha
Claudia Ribeiro Santos Lopes

TEORIA DAS REDES PARA ESTUDOS NA ÁREA DE SAÚDE

Este capítulo apresenta a importância e contribuição da Teoria e Ciência de Redes para estudos na área de Saúde. Relatamos os principais eventos históricos que constituíram a Teoria de Redes. Explicamos como a Teoria de Redes se tornou uma tecnologia apropriada para responder a diversas categorias de problemas científicos. Apresentamos uma síntese dos trabalhos desenvolvidos pelo grupo de pesquisa em redes sociais e complexas, denominado Fuxicos & Boatos, no âmbito da Saúde. Discutimos dois trabalhos específicos para o escopo deste livro: o primeiro trata sobre uma análise de discursos orais por meio do filtro chamado de incidência--fidelidade; o segundo apresenta estudos das representações sociais sobre promoção da saúde em uma rede social de trabalhadores de saúde. Ambos os trabalhos denotam o quão importante pode ser a contribuição da Teoria e Ciência de Redes Sociais na resolução de problemas, bem como aplicações, no campo da Saúde no Brasil e no mundo.

INTRODUÇÃO

O desafio de escrever um capítulo que trate do uso da teoria de redes no contexto da saúde permitiu-nos reflexões sobre quais dos temas de pesquisa que já desenvolvemos seriam os mais adequados para constar nesta breve introdução sobre tecnologias aplicadas à saúde sob o ponto de vista da teoria de redes.

A teoria de redes é um campo de investigação que perpassa por diversas áreas do conhecimento, portanto transversal e, pelo menos, multidisciplinar. Em áreas específicas, como é o caso das ideias trazidas neste capítulo para a área de Saúde, as técnicas da teoria de redes podem ser aliadas importantes para a descoberta e predição de

comportamentos em distintas frentes de atuação e distintos níveis de análise.

A teoria de redes é, portanto, uma tecnologia apropriada para realizar investigações em qualquer área do conhecimento; destacamos neste capítulo sua aplicação para a área de saúde. Onde e como usar os métodos e técnicas da teoria de redes para estudar temas na área de Saúde? Para responder a esta perguntar, apresentamos alguns temas de pesquisa sobre teoria de redes e saúde, nos quais temos nos debruçado com a participação de colaboradores disciplinares, multidisciplinares e interdisciplinares:

a) Análise de discursos orais por meio da incidência e fidelidade para palavras;

b) Estudo dos fluxos de informação e conhecimento em uma rede de hospitais;

c) Estudos das representações sociais sobre Promoção da Saúde em uma rede social de trabalhadores de saúde

d) Estudo do sentido do termo coresidência em um grupo de idosos;

e) Estudo dos fluxos de informação e conhecimento na formação de discentes;

f) Análise da produção científica na área de saúde;

g) Análise do discurso de dependentes químicos.

Dentro desse contexto, optamos por apresentar uma síntese de alguns trabalhos, incluindo as técnicas e métodos usados para realizar as abordagens quantitativas e qualitativas. Não obstante, faz-se necessária a apresentação de um breve contexto histórico sobre o que chamamos de teoria de redes ou o que alguns autores passaram a chamar de ciência das redes.

DO CONTEXTO HISTÓRICO

Em agosto de 2013, o Professor Edivaldo M. Boaventura convidou-nos para proferir uma palestra sobre redes na Academia de Ciências da Bahia, que ocorreu no dia 24 de outubro de 2013, com o título "Redes Sociais e Complexas: Aplicações em Difusão do Conhecimento". Posteriormente, foi-nos solicitado um pequeno texto sobre o tema (PEREIRA, 2013). Parte daquele texto, reproduzimos aqui por se tratar dos aspectos históricos da teoria de redes como a conhecemos hoje em dia.

Desde há muito que os grafos ou redes, sejam sociais e/ou complexas, são temas estudados. Com a teoria de redes, podemos responder a diversas categorias de problemas. Mas, o que são redes? De uma forma muito simples, uma rede é um sistema de vértices conectados por arestas. Diversas redes possuem propriedades não triviais; tais propriedades inexistem em modelos mais simples.

> Essas redes são sistemas complexos que, em geral, envolvem inúmeros elementos organizados em estruturas que podem existir, ou coexistir, em diferentes escalas. Seus processos de ação e de organização não são usualmente descritos por regras simples ou redutíveis a apenas um nível explanatório. Frequentemente, suas características principais emergem de interações entre suas partes constituintes e não podem ser previstas a partir de uma compreensão isolada de cada uma dessas partes.
>
> Nesse sentido, deparamo-nos com a especialização de técnicas e métodos de cálculo para propriedades emergentes (e.g. densidade, coeficiente de aglomeração, caminho mínimo, distribuição de graus, centralidade e prestígio, etc.) de redes sociais e complexas. O estudo desses índices favorece a análise, interpretação e resolução de problemas em diversas áreas. (PEREIRA, 2013, p. 39-40).

Apresentaremos algumas curiosidades históricas, definições e métodos de análise topológica usados em estudos de redes sociais e complexas, de maneira que possibilite o entendimento desse tema.

Em 1736, Leonhard Euler apresentou uma solução para uma lenda urbana: o problema do passeio nas pontes de Königsberg (atual Kaliningrado), cidade cortada pelo Rio Prególia que forma um entorno

composto por quatro porções de terra (sendo duas ilhas), cujas conexões davam-se por sete pontes. O problema consistia em determinar um passeio por todas as pontes sem passar por uma mesma ponte mais de uma vez. Euler (1736) demonstrou que é impossível um passeio em uma rede que tenha mais de 2 vértices com um número ímpar de ligações. Surge a teoria dos grafos que, de forma resumida, posso dizer que é a área com o auxílio da qual as redes são representadas matematicamente. Um grafo $G = (V, E)$ é uma estrutura matemática que consiste em dois conjuntos V (finito e não vazio) e E (relação binária sobre V). Os elementos de V são chamados de vértices e os elementos de E são chamados de arestas (GROSS; YELLEN, 1999).

Duzentos anos depois, as redes sociais passam a ocupar lugar de destaque quando, em 1934 (o segundo marco), Jacob L. Moreno publica o livro *Who Shall Survive*? (MORENO, 1934). O conceito de sociograma é introduzido, tornando-se uma inovação para a época e marcando o início da sociometria, precursora da análise de redes sociais e da psicologia social (WASSERMAN; FAUST, 1994). Uma rede social é um conjunto de pessoas ou grupos de pessoas com algum padrão de contato, interação ou relacionamento entre elas (e.g. amizade entre indivíduos, relações de negócios entre companhias, casamentos entre famílias, colaboração científica, redes de diretores de companhias etc.).

As redes complexas podem ser situadas na interseção entre a teoria dos grafos e a mecânica estatística, envolvendo diversas áreas do conhecimento e, portanto, seu estudo tem característica multidisciplinar (COSTA et al, 2007). Embora seus fundamentos remontem à teoria dos grafos, as redes complexas possuem propriedades que as diferenciam dos grafos não complexos, a exemplo da distribuição dos graus, coeficiente de aglomeração, estrutura de comunidade em qualquer escala, evidência de estrutura hierárquica, etc. Assim, a emergência de algumas propriedades de redes complexas não existentes em redes não complexas e em redes regulares favorece a diferenciação supracitada.

Consideramos os trabalhos de Solomonoff e Rapoport (1951) e Erdös e Rényi (1960) como a origem deste campo de conhecimento (portanto, o terceiro marco), especificamente quando se trata de **redes aleatórias**, uma das topologias existentes. Quando uma rede aleatória tem um tamanho suficientemente grande (i.e. uma quantidade de vértices grande), ela apresenta uma distribuição de graus que segue a distribuição de Poisson. Ademais, esse tipo de rede apresenta como características uma baixa aglomeração e uma distância curta entre seus vértices.

Milgram (1967) mostrou, com base no experimento das cartas, como o "mundo é pequeno" via a criação de cadeias intencionais de pessoas. Watts e Strogatz (1998) formalizaram as **redes mundo pequeno** e as apresentaram como uma nova topologia que apresenta duas propriedades: um alto coeficiente de aglomeração médio (C) e um caminho mínimo médio (L) similar quando comparadas às mesmas propriedades de uma rede aleatória com a mesma quantidade de vértices ($n = |V|$) e mesmo grau médio $<k>$.

Entretanto, existem redes que não se enquadram plenamente nas topologias anteriores. Então, surge uma nova topologia, as **redes livres de escala**, que possuem uma distribuição de graus que segue uma lei de potência. Isso significa que alguns vértices são altamente conectados enquanto outros têm poucas conexões. Para modelar redes reais que apresentam este tipo de distribuição, Barabási e Albert (1999) propuseram um modelo de rede livre de escala baseado em duas propriedades: o crescimento contínuo e a ligação ou adesão preferencial. Essa adesão considera "que a probabilidade que um novo vértice terá para estar conectado a um vértice i depende do grau do vértice i (ki)". Esse modelo constata que as redes que o satisfazem apresentam uma distribuição de graus que segue uma lei de potência com $P(k) \sim k^{-\gamma}$.

Como dissemos, os aspectos históricos supracitados mostram de uma forma muito resumida a origem da teoria e ciência das redes. Sabemos que existe uma miríade de trabalhos importantes desenvolvidos

e publicados em periódicos científicos, anais de eventos científicos e em livros. Recomendamos àqueles que se interessarem por esse fascinante tema que iniciem seus estudos pelas obras de Wasserman e Faust (1994), Newman (2010) e Barabási (2016); especificamente para a área de saúde recomendamos a obra de Valente (2010).

A análise de redes deve ser considerada de modo a facilitar a caracterização da rede analisada, com base nas propriedades supracitadas que impactam diretamente em sua topologia. As topologias sugerem diferentes interpretações, estratégias de tratamento e resoluções para os problemas estudados. A seguir, apresentaremos os conceitos e definições fundamentais que foram usados nas aplicações realizadas na área da Saúde.

A análise de redes semânticas de discursos específicos na área de Saúde pode ser realizada sob distintos pontos de vista. Nos últimos 10 anos, temos estudado redes semânticas de discursos escritos e orais como um dos sistemas de representação do conhecimento que auxiliam a engenharia e, consequentemente, a gestão do conhecimento.

DAS APLICAÇÕES

Nesta seção, apresentamos as sínteses de algumas pesquisas que desenvolvemos ou que estamos desenvolvendo no âmbito da Saúde. Em todas essas pesquisas há a participação de colaboradores que fazem parte do grupo de pesquisa em redes sociais e complexas que chamamos de Fuxicos & Boatos. Para facilitar a leitura, apresentamos na Tabela 1 informações referentes às pesquisas supracitadas.

Tabela 1 — Relação de publicações em periódicos.

Tema	Publicação(ões)
Análise de discursos orais por meio da incidência e fidelidade para palavras	TEIXEIRA, G. M.; AGUIAR, M. S. F.; CARVALHO, C. F.; DANTAS, D. R.; CUNHA, M. V.; MORAIS, J. H. M.; PEREIRA, H. B. B.; MIRANDA, J. G. V. Complex semantic networks. **International Journal of Modern Physics C**, v. 21, p. 333-347, 2010.
Estudo dos fluxos de informação e conhecimento em uma rede de hospitais	CUNHA, F. J. A. P.; RIBEIRO, N. M.; PEREIRA, H. B. B. Records management: a basis for organizational learning and innovation. **Transinformação**, v. 25, p. 159-165, 2013.
	CUNHA, F. J. A. P.; RIBEIRO, N. M.; PEREIRA, H. B. B. Técnicas de gerenciamento de informações em uma rede de hospitais. **Perspectivas em Ciência da Informação** (Impresso), v. 19, p. 22-36, 2014.
Estudo do sentido do termo corresidência em um grupo de idosos	LOPES, C. R. S.; CARDOSO, J. P.; MEIRA, S. S.; CASOTTI, C. A.; VILELA, A. B. A.; PEREIRA, H. B. B. Significado de corresidência na visão de idosos: uma estratégia para análise cognitiva com uso de redes semânticas. **Revista Saúde.com**, v. 11, p. 174-182, 2015.
	LOPES, C. R. S.; RODRIGUES, A. A. A. O.; ROSA, M. G.; SOUZA, E. S.; FADIGAS, I. de S.; FERREIRA, A. P. C.; VILELA, A. B. A.; PEREIRA, H. B. B.. Colaboração na produção de conhecimento em Saúde Coletiva: estudo através de redes semânticas. **Revista Saúde.com**, v. 10, p. 153-160, 2014.
Estudo dos fluxos de informação e conhecimento na formação de discentes	RODRIGUES, A. A. A. O.; LOPES, C. R. S.; SOUZA, E. S.; FADIGAS, I. de S.; PEREIRA, H. B. B. . Information and Knowledge Flows in the Network of the Education through Work for Family Health Program. **Social Networking**, v. 3, p. 119-126, 2014.
Análise do Discurso de Dependentes Químicos	LIMA NETO, J. L. A.; MICHINEL, J. L.; OLIVEIRA, M. O. M.; PEREIRA, H. B. B. Complexidade e multirreferencialidade: Bases epistemológicas para a compreensão do papel de narcóticos anônimos. **Revista Interfaces Científicas Humanas e Sociais**, v. 4, p. 97-110, 2016.

Fonte: Elaborado pelos autores.

A seguir, detalharemos dois trabalhos que nos parecem mais adequados para o escopo deste livro: (1) Análise de discursos orais por meio da incidência e fidelidade para palavras e (2) Estudos das representações sociais sobre Promoção da Saúde em uma rede social de trabalhadores de saúde.

ANÁLISE DE DISCURSOS ORAIS POR MEIO DA INCIDÊNCIA E FIDELIDADE PARA PALAVRAS

A linguagem humana pode ser entendida como o processo mental de elaborar, compreender e interpretar uma mensagem, e se constitui em um dos grandes fenômenos que marcam os registros da evolução humana. Ao longo do seu processo evolutivo, sofreu várias transmutações culminando em um sistema altamente complexo. Segundo Pinker (2002), a linguagem humana se estrutura em torno de diferentes formatos de representação mental: imagens, laços fonológicos, árvores hierárquicas e mentalês.

A linguagem verbal, de acordo com Teixeira et al. (2010), é um processo mental dinâmico, onde ideias surgem por meio da seleção de palavras de características subjetivas e individuais em um discurso oral. Sendo assim, o estudo da linguagem verbal, como um sistema de representação mental, poderia auxiliar profissionais da área de saúde, como médicos e fonoaudiólogos, a detectar e classificar distúrbios mentais e cognitivos em humanos.

A partir de um discurso oral, é possível gerar a rede semântica correspondente. Este tipo de rede é usado como um modelo de representação do conhecimento declarativo, o que possibilita a visualização dos conceitos de modo organizado, sendo capaz de simular a relação entre os seus elementos.

Neste trabalho, a rede de um discurso oral é construída a partir da premissa de Caldeira e colaboradores (2006), em que a sentença representa a menor unidade de significado de um texto. A palavra, por outro lado, muda de significado a depender do contexto que está inserida. Logo, podemos construir uma rede em que os vértices são representa-

dos pelas palavras e uma aresta é criada entre duas palavras que ocorram em uma mesma sentença. Assim, cada sentença corresponderia a um clique, já que todas[1] as palavras da sentença são vértices mutualmente conectados. Cliques são unidas, justapondo ou superpondo o(s) vértice(s) comum(ns), dando origem a uma rede de cliques (FADIGAS; PEREIRA, 2013).

Existem métricas específicas para rede de cliques em geral (FADIGAS; PEREIRA, 2013). Entretanto, para rede semântica de cliques existe um indicador ou filtro, denominado incidência-fidelidade capaz de gerar uma rede ótima, denominada de rede crítica, em que existe o máximo de informação com o mínimo de resíduo textual.

TEORIA DE REDES PARA ESTUDOS NA ÁREA DE SAÚDE

O filtro *incidência-fidelidade*, inicialmente denominado *força-fidelidade*, mede o quão "forte" e "fiel" é a relação entre um par de palavras. Basicamente, seu cálculo considera para um dado par de palavras, a frequência de aparição no texto todo *incidência* $I_{(\alpha-\beta)}$, equação 01) e também a frequência de aparição no contexto em que pelo menos uma palavra do par foi evocada (*fidelidade* $F_{(\alpha-\beta)}$, equação 02). O *incidência-fidelidade* $1F_{(\alpha-\beta)}$ é então o produto destes dois índices, conforme equação 03.

$$I_{\alpha-\beta} = \frac{|C_\alpha \cap C_\beta|}{\left|\bigcup_{i=1}^{Np} C_i\right|} = \frac{S_{\alpha-\beta}}{N} \quad (01)$$

$$F_{\alpha-\beta} = \frac{|C_\alpha \cap C_\beta|}{|C_\alpha \cup C_\beta|} = \frac{S_{\alpha-\beta}}{S_\alpha + S_\beta - S_{\alpha-\beta}} \quad (02)$$

$$IF_{\alpha-\beta} = I_{\alpha-\beta} \cdot F_{\alpha-\beta} = \frac{(S_{\alpha-\beta})^2}{N \cdot (S_\alpha + S_\beta - S_{\alpha-\beta})} \quad (03)$$

[1] Antes de compor a rede, as palavras passam por um processo de tratamento manual e computacional. Cada palavra é classificada gramaticalmente e pode ser modificada ou eliminada, de acordo com sua classificação e do viés do pesquisador. Mais detalhes desse processo podem ser encontrados em Teixeira e colaboradores (2010) e Pereira e colaboradores (2011).

onde α e β representam as palavras que compõem um dado par de palavras; C*i* representa o conjunto de sentenças que contem a palavra i; S_{α}, S_{β} e $S_{(\alpha-\beta)}$ representam o número de sentenças que aparecem, respectivamente, a palavra α, a palavra β e o par de palavras α, β e N o número total de sentenças do discurso. Ao calcular *IF* para todos os pares de palavras de um texto, sua rede semântica passa a ser ponderada nas arestas.

Caldeira e colaboradores (2006) defendem que palavras que ocorrem juntas em uma mesma sentença foram evocadas de forma associativa na construção da ideia a ser apresentada. Teixeira e colaboradores (2010) complementam que a partir deste critério pares, cuja associação é pouco significativa, acabam sendo incluídos na rede e mascaram a estrutura formada pelas associações mais fortes. Dessa forma, faz-se necessário uma filtragem, de forma a que apenas as associações mais relevantes para o discurso sejam consideradas na construção da rede.

Esta filtragem é feita montando redes, cada uma com arestas de pesos maiores que certo valor (i.e. um limite inferior para a *incidência-fidelidade*, $IF \geq IF_L$). Este valor mínimo IF_L varia desde o menor valor de *IF* até seu valor máximo, com intervalos regulares entre eles. Por exemplo, uma rede de $IF_L = 4.10^{-5}$ só contém arestas com $IF \geq 4.\ 10^{-5}$.

A partir das redes geradas, avaliam-se os valores dos índices de redes para cada rede da filtragem. A primeira aplicação desse procedimento foi em discursos orais de 12 indivíduos dentro de um mesmo contexto. Todos os indivíduos discursaram sobre o mesmo tema: "Eu". Seus textos foram transcritos e tratados. E, para cada texto, foram geradas inúmeras redes, cada uma com um valor IF_L diferente. Curiosamente, para valores de $IF_L \cong 10^{-3}$, as redes apresentaram o máximo de informação para o mínimo de resíduos de informação. Neste caso, a *incidência-fidelidade limite* passa a ser chamada de *incidência-fidelidade crítica*, ou seja, $IF_L = IF_C = 10^{-3}$, e as redes associadas a ela foram chamadas de redes críticas. Nessa configuração, a rede possui pares de palavras com alto poder de associação, de forma a manter a maior parte da rede conexa. Redes que possuem IF_L maior que IF_C são pouco conectadas, apesar de conterem pares de palavras de associação forte.

Consideremos, por exemplo, o discurso de um dos indivíduos. Para esse discurso, diversas redes são formadas para diferentes valores de IF_L, dos quais três são exibidos na Figura 1. A rede de baixo valor de *incidência-fidelidade limite* (IF_L = 0,0001) contém muitos nós e muitas arestas, o que dificulta uma inspeção visual e entendimento do discurso, pois as associações entre palavras não pertencem ao núcleo de associações mais significativas do discurso (redes como esta possuem muita informação não relevante para o discurso). No outro extremo, a rede na IF_L = 0,01 contém os pares de palavras de maiores valores de *IF*, entretanto não representa bem o discurso deste indivíduo, pois muita informação (palavras) é perdida.

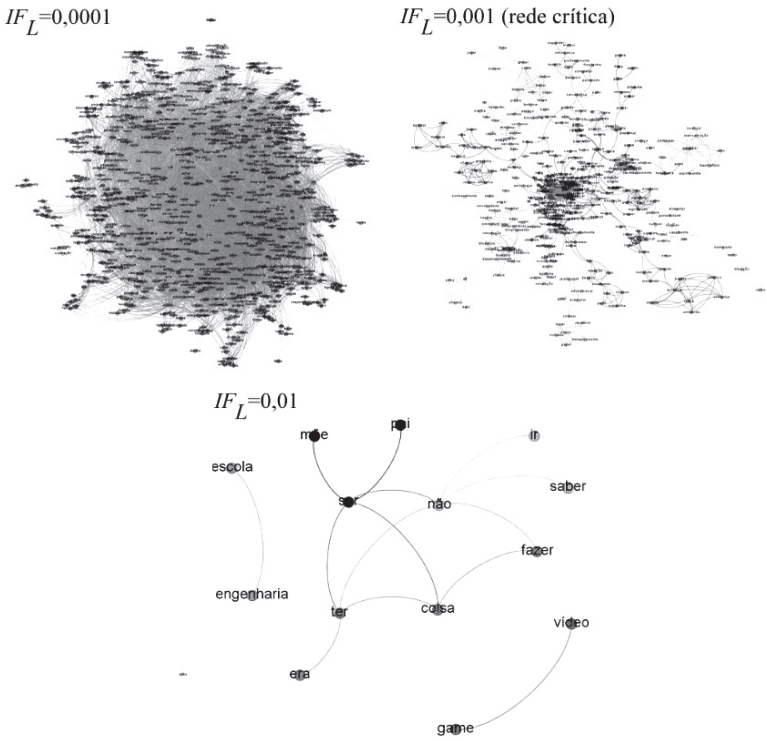


Figura 1 — Três redes filtradas pelo índice *IF*, para o discurso de um dos indivíduos.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Na configuração crítica (IF_L = 0,001), a rede revela o discurso bem definido do indivíduo, evidenciando claramente "o caminho" entre palavras e grupos de palavras. O componente principal da rede é altamente conexo com o máximo de palavras e o mínimo de associações entre elas. Após a configuração crítica a quantidade de informação (palavras) cai bruscamente, enquanto que as associações (arestas) entre as palavras diminui sua queda. Na *rede crítica* (linha pontilhada), teremos o maior número de palavras para o menor valor de associação entre elas (TEIXEIRA et al., 2010).

Uma análise visual da rede permite-nos verificar o que é mais importante no discurso do indivíduo. Por exemplo, percebemos na Figura 2 a formação de módulos bem diversificados, assim como os caminhos de palavras que interligam os diversos núcleos existentes na rede. Um módulo, basicamente consiste em um grupo de palavras, mais conectadas entre si do que a outros grupos. A Figura 2 é uma ampliação da *rede crítica* da Figura 1, e mostra os módulos formados.

O discurso de um indivíduo na *rede crítica* pode ser mapeado, de modo que a associação entre os pares de palavras permita identificar um núcleo maior e central com conteúdos mais evocados durante todo o discurso e mais heterogêneo. À medida que percorremos a rede, identificamos a ligação entre os diversos núcleos formados e dessa maneira a informação adquirida acaba sendo categorizada em muito deles.

Na busca de pistas para saber a relação entre a *rede crítica* e a linguagem humana, fizemos um processo de aleatorização nos vocabulários dos discursos dos indivíduos. Buscamos com isso responder à seguinte pergunta: um texto aleatório poderia produzir uma configuração crítica? Caso isto acontecesse, então a *rede crítica* seria apenas um efeito matemático para qualquer rede de cliques. Entretanto, não foi isto que aconteceu.

Para responder, fixou-se a quantidade de palavras por sentença no discurso original e foi realizado um sorteio das palavras que compõe cada sentença, no universo de palavras do vocabulário do discurso do indivíduo. Esse experimento mostrou que não existe *rede crítica* para nenhum discurso aleatório. A Figura 3 mostra redes filtradas do

discurso aleatório de um dos indivíduos, cujo processo de aleatorização gerou redes que não continham as características de *rede crítica*, exceto para IF_L = 0,0013, que mais se aproximou de uma configuração crítica, mas que não apresenta um padrão modular.

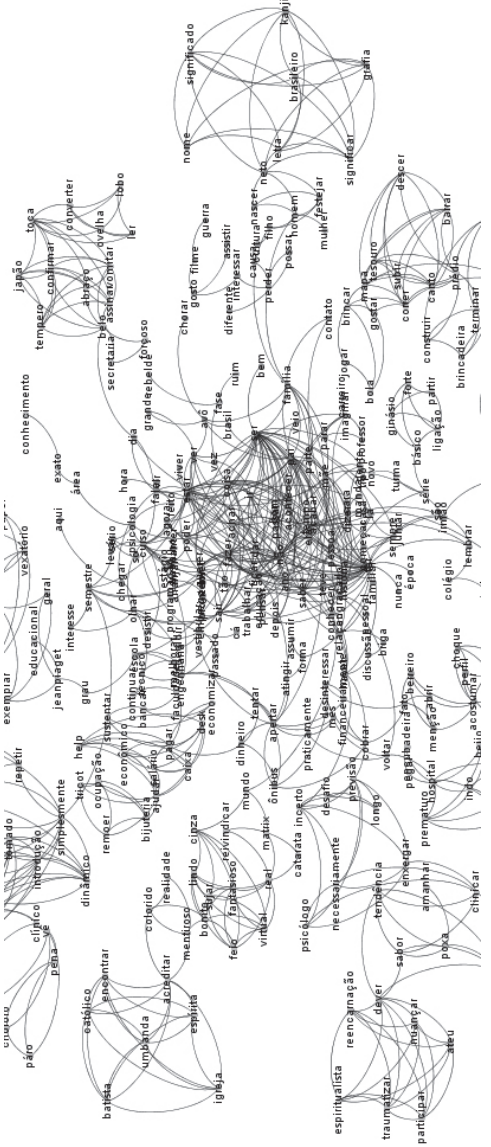


Figura 2 — Ampliação da *rede crítica* do discurso oral de um dos indivíduos.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Esse resultado revela a existência de um padrão nas escolhas das palavras em um discurso oral, e sugere que comportamentos diferentes em redes críticas diferentes podem auxiliar a diferenciar discursos de seres humanos e de máquinas ou diferenciar discursos de pessoas com patologias que afetam a comunicação verbal e de pessoas saudáveis. Cunha (2013) discute este mesmo fenômeno para redes de títulos de artigos científicos. A dissertação mostra que as palavras dos títulos das publicações científicas se conectam de maneira semelhante às palavras em um discurso oral, e que a *rede crítica* de títulos aleatorizados não existe.

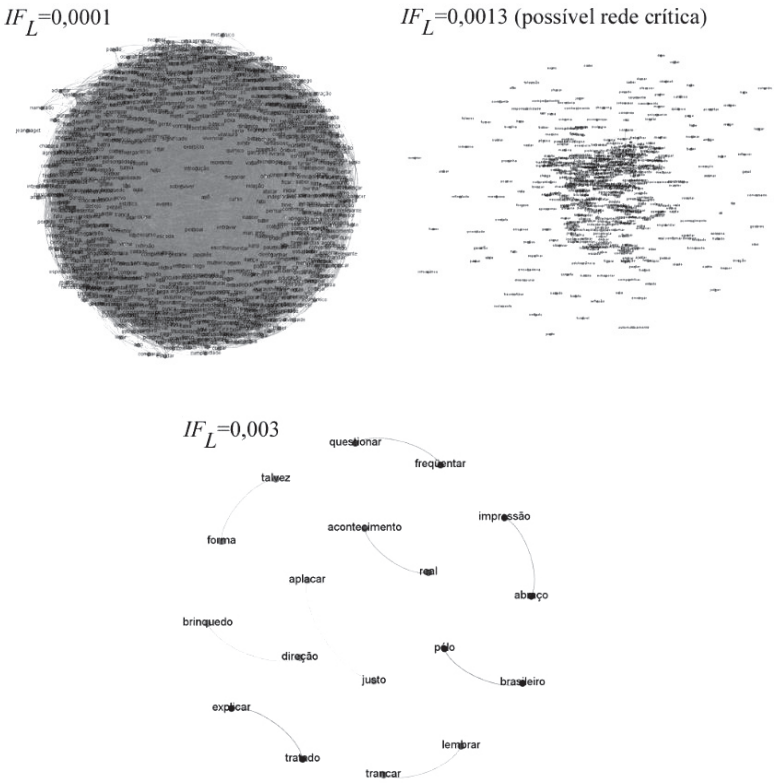


Figura 3 — Três redes filtradas pelo índice *IF*, para o discurso aleatorizado de um dos indivíduos.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Na Figura 4, mostramos redes críticas de alguns discursos de indivíduos, participantes da coleta do estudo de Teixeira et al. (2010). Estas redes possuem alto caminho mínimo entre as palavras, grande diferença entre vértices e arestas e um padrão modular bem definido.

Trabalhos futuros deverão fazer uma coleta mais significativa para indivíduos "saudáveis" e indivíduos com patologias linguísticas cognitivas considerando diferentes contextos. Assim, poderemos criar uma escala onde seja possível identificar os estágios de possíveis patologias de cada indivíduo a partir da aproximação de suas redes críticas com indivíduos "saudáveis".

Estes últimos resultados, não obstante serem muito importantes, ainda não são conclusivos, pois a análise foi feita apenas com um indivíduo internado. Alguns trabalhos em andamento e outros a serem realizados deverão fazer uma coleta mais significativa para indivíduos "saudáveis" e indivíduos com patologias linguísticas cognitivas, considerando diferentes contextos. Assim, poderemos criar uma escala onde seja possível identificar os estágios de possíveis patologias de cada indivíduo a partir da aproximação de suas redes críticas com indivíduos "saudáveis".

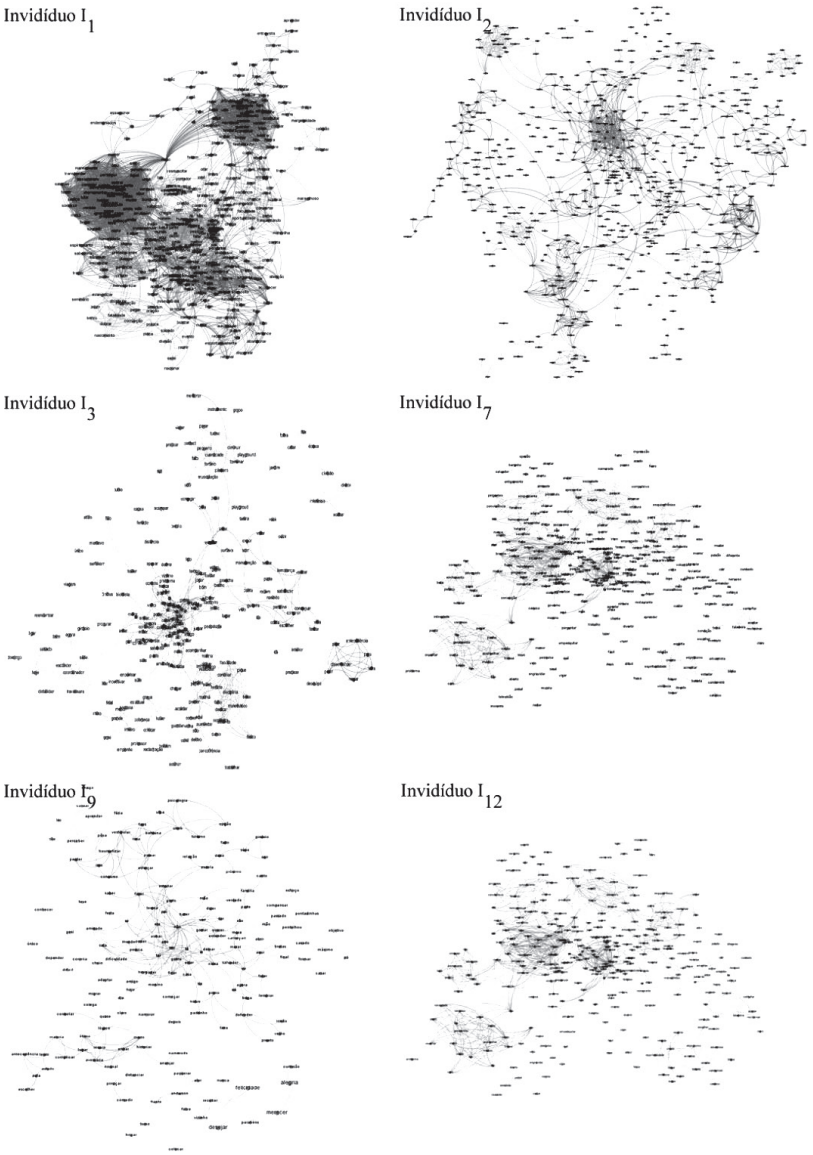


Figura 4 — Seis redes críticas de indivíduos participantes do estudo que propôs o *incidência-fidelidade*.

Fonte: Elaborado pelos autores.

ESTUDOS DAS REPRESENTAÇÕES SOCIAIS SOBRE PROMOÇÃO DA SAÚDE EM UMA REDE SOCIAL DE TRABALHADORES DE SAÚDE

No Brasil, a Atenção Básica em municípios é prioridade em políticas de saúde do Sistema Único de Saúde (SUS). Sendo assim, é de fundamental importância que as pessoas que trabalham nele compartilhem de sentimentos e conceitos semelhantes em relação ao próprio sistema e sobre as pessoas que dependem dele. Para investigar as semelhanças entre as percepções dos trabalhadores deste sistema de saúde, utilizamos nesse estudo a teoria das representações sociais aliada com métodos e métricas de redes sociais e complexas.

Segundo Moscovici (1979), "representações sociais" são "entidades quase tangíveis que circulam, se cruzam e se cristalizam sem cessar em nosso universo cotidiano através de palavras, gestos, imagens, encontros, entre outros". Este conceito foi proposto em seu trabalho intitulado *La Psychanalyse: son imagem ET son public*, realizado em 1961. Uma das abordagens teóricas em que se ancora a teoria das representações sociais é denominada de estruturalista, a qual objetiva a descoberta e análise do sistema central (núcleo central) e sistema periférico das representações (ABRIC, 1993; SÁ, 2002). Com as representações sociais busca-se compreender o sentido do objeto para o sujeito que o observa, relaciona e interage. Entretanto, este sentimento é construído de forma coletiva. Cada pessoa tem uma percepção ou conceito que é influenciada pelas relações sociais que estabelece (LOPES et al., 2013).

Este trabalho foca na análise da percepção sobre o sentido do termo *promoção da saúde* de secretários de saúde e técnicos administrativos, atuantes na atenção básica em municípios de pequeno porte e integrantes da 13ª Diretoria Regional de Saúde no estado da Bahia, através da técnica de evocação de palavras. A técnica consiste no sujeito falar e escrever vocábulos que lhe venham à mente após ser estimulado por um termo indutor (prime) que caracterize o objeto de estudo, de forma a identificar o conteúdo da representação social analisada (OLIVEIRA et al., 2010; LOPES et al., 2013).

Para tanto, foi feito um levantamento nesta comunidade, sobre qual o sentido que a mesma atribuía ao conceito de *promoção da saúde.* Cada indivíduo relatou as cinco primeiras palavras que lhe vinham à mente relacionada ao conceito principal. Os dados foram coletados em maio de 2012, com a devida autorização junto ao Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (CEP-UESB/080-2009). Este grupo de 80 trabalhadores de saúde atuantes na gestão em saúde de Municípios do interior do Estado da Bahia, na atenção básica na mesma DIRES, será representado por uma rede social. Na modelagem proposta, os vértices da rede representam as palavras evocadas pelos trabalhadores, e as arestas da rede conectam palavras que foram evocadas pelo mesmo trabalhador, resultando em uma rede semântica de cliques.

Os dados foram observados a partir das métricas gerais da rede, como o número de vértices ($n = |V|$), número de arestas ($m = |E|$), grau médio ($<k>$), diâmetro (D), coeficiente de aglomeração médio (C), caminho mínimo médio (L) e densidade (Δ), e as métricas para a centralidade de grau (C_g) do vértice, a detecção de comunidades (*modularity class*) e a centralidade de autovetor (E_c). Estes indicadores foram calculados para: a rede total (maior componente); cada rede, após retirada de vértices de maior centralidade de grau, a partir do maior valor de centralidade e a rede aleatória com mesmo número de vértice e arestas. Com estes cálculos foi possível determinar a topologia da rede investigada e descobrir as palavras mais importantes para manter esta rede coesa. O procedimento detalhado, com todos os índices e análises encontra-se no trabalho de Lopes e colaboradores (2014).

A rede do conjunto de todas as palavras evocadas pelos trabalhadores de saúde possui n =194 e m = 624. A maior dos quatro componentes possui 92,2% dos vértices da rede total, representando bem o sistema em análise. A Figura 5 mostra a rede total com destaque para o maior componente.

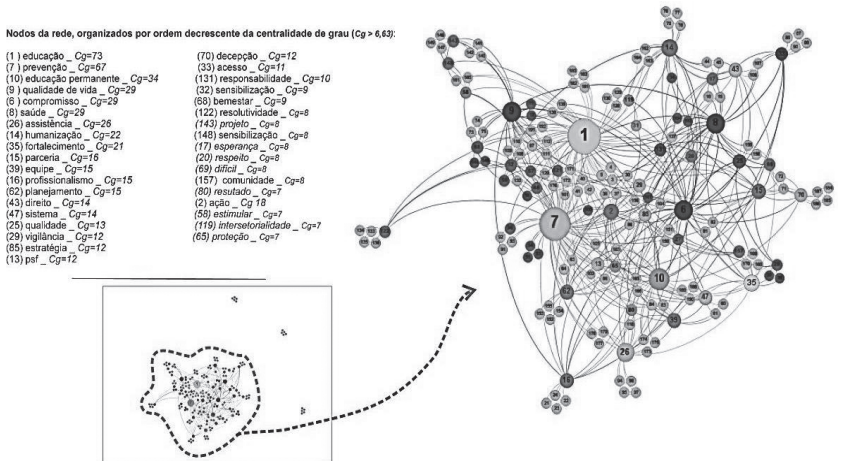


Figura 5 — Rede total das palavras evocadas pelos trabalhadores de saúde, com suas respectivas centralidades de grau, com destaque para o maior componente da rede.

Fonte: Lopes e colaboradores (2014, p. 122).

Essa rede possui 10 comunidades detectadas pelo índicador *modularity class*. A detecção de comunidades consiste em uma decomposição da rede em "sub-unidades" ou "comunidades", as quais são conjuntos de nós altamente interconectados. A modularidade mede a densidade de links dentro de comunidades, em comparação com as ligações entre os grupos gerados. O método de extração de comunidades aplicado neste estudo é o proposto por Blondel e colaboradores (2008).

Quanto às características topológicas da rede, podemos afirmar que a rede estudada é do tipo mundo pequeno, já que a rede aleatória correspondente possui baixo coeficiente de aglomeração, dentre outras condições para que a rede real seja considerada mundo pequeno (WATTS; STROGATZ, 1998). Esse fato indica que existe convergência nos sentidos atribuídos individualmente pelos sujeitos quanto ao significado de *promoção da saúde*, resultando em uma rede de significados socialmente construídos.

Os vértices *educação*, *prevenção* e *educação permanente* destacam-se com relação aos demais nos valores de centralidade de grau C_g. Com a retirada desses vértices, observamos que a rede se decompõe em nove componentes, cinco a mais que o experimento inicial (Figura 6). O maior componente possui 81,68% do conjunto dos vértices da rede total, ainda representando o sistema todo de palavras. Essa decomposição ocorrida nos mostra que esses três vértices integram o núcleo central da rede. Entretanto, existem outros vértices na rede que também compõem o sistema central.

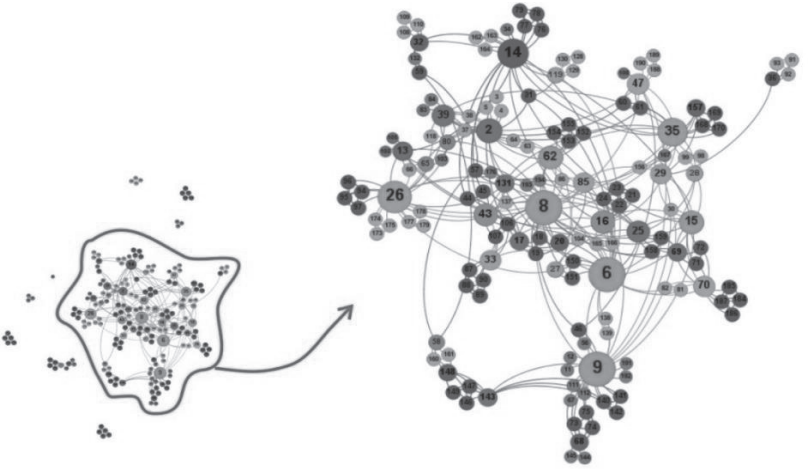


Figura 6 — Rede das palavras evocadas pelos trabalhadores de saúde após a retirada dos vértices *educação* (1), *prevenção* (7) e *educação permanente* (10), os quais apresentaram as maiores centralidades de grau.

Fonte: Lopes e colaboradores (2014, p. 125).

Entretanto, existem outros vértices na rede que também compõem o sistema central, já que o maior componente, após esta retirada, ainda é representativo. Assumimos que estes vértices são os que apresentaram os maiores índices de Cg em cada comunidade detectada na rede inicial. Ou seja, retiramos os vértices *educação* (1), *prevenção* (7), *qualidade de vida* (9), *educação permanente* (10), *assistência* (26), *compromisso* (6), *saúde* (8), *humanização* (14), *fortalecimento*

(35), *ação* (2), *parceria* (15), *resolutividade* (122) e *sensibilização da comunidade* (148). Na Figura 7, podemos fazer uma inspeção visual do comportamento ocorrido na rede após a retirada desses vértices.

Observamos agora que com a retirada dos vértices mais centrais da rede, levando em consideração o índice C_g, em cada comunidade detectada, a rede se decompõe ainda mais, passando a ter 26 componentes, e o componente principal possui apenas 44,75% dos vértices, não representando mais o sistema em análise.

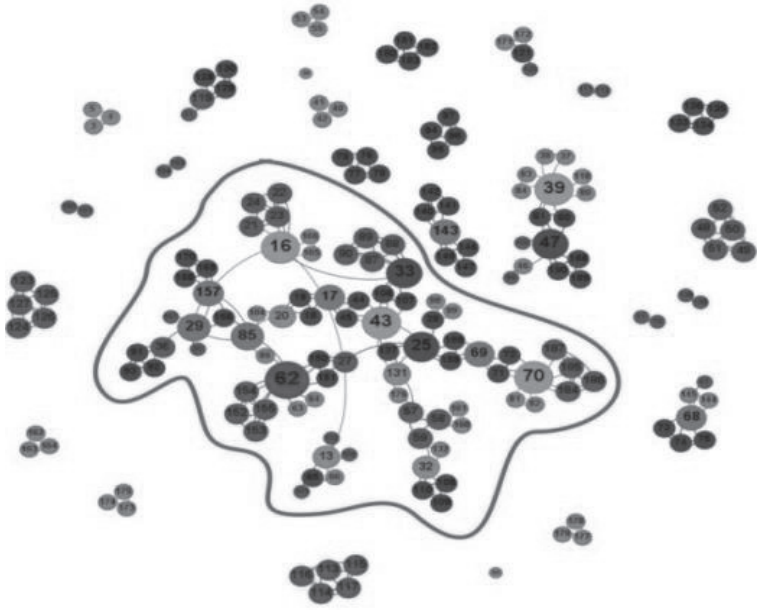


Figura 7 — Rede das palavras evocadas após a retirada dos vértices educação (1), prevenção (7), qualidade de vida (9), educação permanente (10), assistência (26), compromisso (6), saúde (8), humanização (14), fortalecimento (35), ação (2), parceria (15), resolutividade (122) e sensibilização da comunidade (148) e seu maior componente.

Fonte: Lopes e colaboradores (2014, p. 125).

O trabalho de Heidman e colaboradores (2006) e a análise matemática e visual da estrutura da rede e suas comunidades, na Figura 7, sugerem-nos que a percepção dos atores sociais na rede estudada está centrada em cinco núcleos de sentidos: i) educação para a saúde, com vistas a produzir uma melhoria da qualidade de vida e saúde da população a partir da atenção básica; ii) reorientação dos serviços de saúde e processo permanente de qualificação profissional; iii) definição e implementação de políticas públicas; iv) criação de ambientes saudáveis; v) reforço da ação comunitária. Esses resultados podem ser observados, agora com mais clareza, nos módulos da rede principal.

A compreensão da estrutura das representações sociais (núcleo central e sistema periférico), a partir do uso da centralidade de grau e a detecção de comunidades (grupos de sentidos), em uma rede social foi possível graças a modelagem da rede social de trabalhadores da saúde em uma rede semântica. Isto fica claro, quando observamos que os vértices que compõem as comunidades na rede fazem parte de grupos distintos semanticamente (i.e. grupos que apresentam percepções bem definidas e diferentes de cada indivíduo, sem desconsiderar as representações socialmente construídas de forma coletiva). Assim, com essa metodologia, pudemos identificar que a práxis dos trabalhadores de saúde dessa rede, quanto à promoção da saúde, está fortemente relacionada às ações de educação para a saúde (núcleos centrais *educação* e *prevenção)*; e à qualificação profissional (núcleo central *educação permanente*). Ou seja, há uma práxis voltada para uma política de formação permanente, que contribui para melhoria da atenção básica prestada à população. Logo, este estudo indica que a compreensão dos sentidos que circulam em um grupo social de trabalhadores de saúde, certamente contribui para futuras ações de planejamento e gestão.

AGRADECIMENTOS

Este capítulo foi parcialmente financiado pelo programa de recursos humanos (PRH55) da Agência Nacional de Petróleo e Gás (ANP) através da concessão de uma bolsa de doutorado.

REFERÊNCIAS

ABRIC, J. C. Central System, Peripheral System: their functions and roles in the dynamics of social representations. **Papers on Social Representations**. Textessur les Représentations Sociales (1021-5573), v. 2, n. 2, 1993, p. 75-78.

BARABÁSI, A.-L. **Network science**. Cambridge: Cambridge University Press, 2016.

BARABÁSI, A. L.; ALBERT, R. Emergence of scaling in random networks. **Science**, v. 286, 1999, p. 509-512.

BLONDEL, V. D. et al. Fast unfolding of communities in large networks. **Journal of Statistical Mechanics**: theory and experiment, v. 10, 2008, p. 1000.

CALDEIRA S. M.G. et al. The network of concepts in written texts. **EPJ B**, v. 49. 2006, p. 523–529.

COSTA, L. F. et al. Characterization of complex networks: a survey of measurements. **Advances in Physics**, v. 56, n. 1, 2007, p. 167-242.

CUNHA, M. V. **Redes de títulos baseadas em títulos de artigos científicos**. Dissertação de mestrado. Programa de pós graduação em modelagem computacional e tecnologia industrial, Senai, Salvador –BA, Brasil, 2013.

ERDÖS, P.; RÉNYI, A. On the evolution of random graphs. **Publications of the Mathematical Institute of the Hungarian Academy of Sciences**, n. 5, 1960, p. 17-61.

EULER, L. Solutio problematis ad geometriam situs pertinentis. **Commentarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae**, v. 8, 1736, p. 128-140.

FADIGAS, I.; PEREIRA, H. B. B. A network approach based on cliques. **Physica A**: statistical mechanics and its applications, v. 392, n. 10, 2013, p. 2576–2587.

GROSS, J. T.; YELLEN, J. **Graph theory and its applications**. Boca Raton: CRC Press, 1999.

HEIDMANN, I. T. S. B. et al. Promoção à saúde: trajetória histórica de suas concepções. **Texto e Contexto Enfermagem**, Florianópolis, Abr.-Jun; v. 15, n. 2, 2006, p. 352-8.

LOPES, C. R. S. et al. Significado de Corresidência a partir da análise de uma rede social de idosos. In: BRAZILIAN WORKSHOP ON SOCIAL NETWORK ANALYSIS AND MINING, 2., CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO, 33., 2013, Maceió. **Anais eletrônicos…** Maceió: Sociedade Brasileira de Computação, 2013.

LOPES, C. R. S. et al. Identificando as representações sociais sobre Promoção da Saúde em uma rede social de trabalhadores de saúde. In: BRAZILIAN WORKSHOP ON SOCIAL NETWORK ANALYSIS AND MINING, 3., CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO, 34., 2014, Brasília. **Anais eletrônicos…** Brasília: Sociedade Brasileira de Computação, 2014. p. 116-127. Disponível em: <http://www.each.usp.br/digiampietri/BraSNAM/2014/p10.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2016.

MILGRAM, S. The Small-World Problem. **Psychology Today**, v. 2, 1967, p. 60-67.

MORENO, J. L. **Who Shall Survive?** Washington DC: Nervous and Mental Disease Publishing Company, 1934.

MOSCOVICI, S. **El Psicoanálisis, su imagen e su público**. Argentina: Editorial Huemul S.A., 1979. (Colección Temas Básicos)

NEWMAN, M. E. J. **Networks**: an introduction. Oxford: Oxford University Press, 2010.

OLIVEIRA, D. C. et al. Representações sociais do trabalho: uma análise comparativa entre jovens trabalhadores e não trabalhadores. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 15, n. 3, 2010, p. 763-773.

PEREIRA, H. B. B. Redes sociais e complexas: aplicações em difusão do conhecimento. **Academia de Ciências da Bahia**: Memória, v. 3, p. 39-47, 2013.

PEREIRA, H. B. B. et al. Semantic networks based on titles of scientific papers. **Physica A**: statistical mechanics and its applications, v. 390, n. 6, 2011, p. 1192-1197.

PINKER, S. **Como a mente funciona**. São Paulo: Companhia das Letras, 2002.

SÁ, C. P. **Núcleo central das representações sociais**. 2. ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2002.

SOLOMONOFF, R.; RAPOPORT, A. Connectivity of Random Nets. **Bulletin of Mathematical Biophysics**, v. 13, 1951, p. 107-117.

TEIXEIRA, G. M. et al. Complex Semantic Networks. **International Journal of Modern Physics C**, v. 21, n. 3, 2010, p. 333-347.

VALENTE, T. W. **Social networks and health**. Oxford: Oxford University Press, 2010.

WASSERMAN, S.; FAUST, K. **Social network analysis**: methods and applications. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.

WATTS, D. J.; STROGATZ, S. H. Collective dynamics of small-world networks. **Nature**, v. 393, n. 4, 1998, p. 440-442.

Capítulo VI

DIFUSÃO DO CONHECIMENTO, TECNOLOGIA E FORMAÇÃO: TEORIA DE REDES E APLICAÇÕES

Tereza Kelly Gomes Carneiro
Renata Souza Freitas Dantas Barreto
Hernane Borges de Barros Pereira

DIFUSÃO DO CONHECIMENTO, TECNOLOGIA E FORMAÇÃO: Teoria de redes e aplicações

Partindo de duas pesquisas da área de educação, que utilizaram a teoria de redes sociais como base teórica para desenvolvimento de propostas avaliativas e propositivas, buscamos neste capítulo apresentar reflexões sobre difusão do conhecimento, teoria de redes e processos formativos. A pesquisa "Redes de afinidade como estratégia de gestão pedagógica e difusão do conhecimento em cursos na modalidade à distância" mostra a integração da teoria de redes com teoria de gestão pedagógica e educação a distância. A pesquisa "Reflexões sobre a produção e difusão do conhecimento na formação docente: análise de redes semânticas" evidenciou, através das redes semânticas, a existência de um isolamento intelectual na atual estrutura de trabalho do grupo de docentes pesquisadores, o que pode ser prejudicial para o processo de criação e difusão de conhecimento. Como resultado da análise destas duas pesquisas e das reflexões teóricas sobre difusão de conhecimento foi possível evidenciar que a teoria de redes é uma importante ferramenta de pesquisa que colabora na realização de pesquisas inter e multidisciplinares.

INTRODUÇÃO

Três temas foram unidos e apresentados como mote de uma discussão sobre o que temos realizado em termos de pesquisas no contexto educacional contexto educacional da região nordeste: difusão do conhecimento, tecnologia e formação. De nossa parte, consideramos a teoria de redes e duas aplicações que nos dão subsídios para investigarmos temas no âmbito da educação.

Dentro desse contexto, este capítulo tem o objetivo de apresentar reflexões sobre como a teoria de redes pode ser aplicada às diversas áreas de conhecimento, incluindo a educação e suas possibilidades de pes-

quisa. Para tanto, foram apresentadas duas pesquisas realizadas por profissionais da área de educação e que estão buscando, na teoria de redes, a base teórica para fundamentarem suas áreas de atuação profissional.

Com a pesquisa intitulada "**Redes de afinidade como estratégia de gestão pedagógica e difusão do conhecimento em cursos na modalidade a distância**", argumentamos sobre a aplicação da teoria de redes como instrumento de melhoria da gestão pedagógica em cursos de Educação a Distância (EaD). Veremos que esta pesquisa possibilita-nos ver a integração da teoria de redes com teoria de gestão pedagógica e educação a distância. Cabe ressaltar que esta pesquisa resultou em uma tese defendida no Doutorado Multiinstituicional e Multidisciplinar em Difusão do Conhecimento (DMMDC), cujas instituições partícipes são: Universidade Federal da Bahia (UFBA), Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC), Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), Universidade do Estado da Bahia (UNEB), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA) e Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC.

A outra pesquisa intitulada preliminarmente de "**Reflexões sobre a produção e difusão do conhecimento na formação docente: análise de redes semânticas**" reflete sobre a consistência da produção e difusão do conhecimento produzidos por um grupo de docentes de uma universidade estadual baiana e as influências desses conhecimentos na formação de estudantes de pedagogia. Esta pesquisa consistiu em um trabalho de conclusão de curso realizado por uma discente do curso de graduação em pedagogia da UNEB.

Após as seções que tratam das pesquisas realizadas no âmbito da educação, optamos por não apresentar uma brevíssima introdução sobre a teoria de redes, uma vez que já foi apresentada no Capítulo 5, intitulado *Teoria de redes para estudos na área de saúde*. Não obstante, apresentaremos alguns conceitos fundamentais que serão usados ao longo do capítulo.

Este capítulo está organizado como segue. Na Seção 2, apresentaremos uma síntese da pesquisa que trata de um modelo de gestão peda-

gógica para cursos na modalidade de educação a distância baseado em redes de afinidade. Na Seção 3, apresentaremos as reflexões preliminares sobre a produção e difusão do conhecimento na formação docente. Finalmente, na Seção 4, apresentaremos nossas considerações finais.

PROPRIEDADES DE REDE USADAS

O uso da teoria de redes deve ser considerado como uma ferramenta que auxilia o estudo de sistemas compostos por elementos que se conectam. Dessa forma, podemos caracterizar uma dada rede, com base em suas propriedades, assim como identificar os vértices preeminentes. As topologias e propriedades de redes sugerem diferentes interpretações, estratégias de tratamento e resoluções para os problemas estudados (PEREIRA, 2013, p. 43-44). Na Tabela 1, apresentamos as propriedades de redes usadas neste capítulo.

Tabela 1 — Definições das propriedades de redes usadas neste capítulo.

Propriedades	Definição/conceito
$n = \|V\|$	Número de vértices de uma rede que é dado pela cardinalidade do conjunto V.
$m = \|E\|$	Número de arestas de uma rede que é dado pela cardinalidade do conjunto E.
Δ	É a razão entre o número de arestas existentes em uma rede e o número máximo de arestas possíveis de existirem nessa rede.
$\langle k \rangle$	É a média aritmética do número de arestas incidentes de cada um dos vértices de uma rede.
C	O coeficiente de aglomeração médio é a média aritmética da razão do número de arestas existentes entre vizinhos de cada vértice de uma rede e o número máximo possível de arestas de sua vizinhança.
L	É a média aritmética dos caminhos mais curtos (i.e. distâncias geodésicas) entre todos os pares de vértices de uma rede.
D	É a maior distância geodésica em uma rede.
$E(G)$	É o valor da eficiência global de uma rede.
E_{loc}	É o valor da eficiência local de uma rede.

Fonte: Elaborado pelos autores.

REDES DE AFINIDADE COMO ESTRATÉGIA DE GESTÃO PEDAGÓGICA E DIFUSÃO DO CONHECIMENTO EM CURSOS NA MODALIDADE A DISTÂNCIA

Estudos têm evidenciando que processos colaborativos ocorrem com maior facilidade entre indivíduos que possuem afinidade (SILVEIRA, 2006; QUARTO et al., 2007; ZAMBANINI et al., 2012; MONTEIRO et al., 2014). Silveira (2006) afirma com base em Vygostky, que quando as pessoas contam com ajuda de semelhantes são capazes de resolver problemas ou de efetuar novas aprendizagens melhor do que quando dispõem unicamente de seus próprios meios. A afinidade como componente de estímulo aos processos de cooperação é apresentada por Quarto *et al*. (2007) em suas discussões sobre processos de ensino-aprendizagem em ambiente assistido por computador. Por isso, acredita-se que uma forma de estimular a criação e difusão de conhecimento em cursos na modalidade EaD seja a agregação de cursistas a partir da afinidade que eles apresentem, pois existirá uma maior disposição a colaborar com seus correlatos.

Uma possibilidade que surge para que seja possível realizar essa formação de grupo de forma não aleatória, que obedeça a um critério definido e que contribua no sentido de estimular a colaboração, e, consequentemente, a difusão de conhecimento, é realizar essa aglutinação dos grupos em função das afinidades existente entre os cursistas, construindo a rede de relações existentes entre os participantes de um determinado curso na modalidade EaD.

Mas como definir essa afinidade de forma objetiva e passível de ser replicada em outros estudos? A solução proposta foi considerar o trabalho de Monteiro *et al*. (2014), para quem o grau de afinidade é definido como o percentual de similaridade de pares de genes de cromossomos de indivíduos (Equação 1). Sendo possível assim, a construção e simulação de redes utilizando o critério de afinidade entre os atores. Nesse tipo de rede, dois atores estabelecem uma relação se os dois possuírem um número mínimo de semelhança entre seus atributos, a qual

pode ser definida em função de qualquer conjunto de atributos dos atores, (e.g. preferencias culturais e perfil de consumo). Ou seja, a partir da semelhança entre os atributos dos atores é possível determinar a afinidade entre eles e com isso gerar redes em função destas afinidades.

$$A_{ij} = \frac{1}{N_g} \sum_{i \neq j \in G, w=1}^{N_g} g_{iw} \equiv g_{jw} \qquad (1)$$

onde, N_g é o número de genes dos cromossomos, g_{kw} é o w-ésimo gene do cromossomo de um indivíduo k, e a operação $g_{iw} \equiv g_{jw}$ é dada por:

$$g_{iw} \equiv g_{jw} = \begin{cases} 1, & g_{iw} = g_{jw} \quad \text{ou} \\ 0, & caso\ contrário \end{cases} \qquad (2)$$

Definido como seria calculada a afinidade, o passo seguinte foi definir em função de que essa afinidade seria quantificada. Optou-se por considerar a semelhança que os participantes tinham em relação aos conhecimentos sobre o uso da internet e a experiência que já vivenciaram na modalidade EaD, considerando que o objetivo maior dessa agregação em grupos é estimular a colaboração no Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA) e com isso melhorar o processo de aprendizado.

Se estamos trabalhando com educação a distância e queremos pensar em estratégias de melhoria da gestão dessa modalidade de ensino, e, para isso, precisamos definir atributos que possam definir a afinidade entre cursistas, uma alternativa que compreendemos ser possível é definir esses atributos com base perfil tecnológico dos cursistas. Para nós, esse conceito explicita os conhecimentos e habilidades mínimos para que um usuário possa utilizar de forma proveitosa os recursos computacionais, tais como uso de editores de texto, planilhas, navegação na internet, download de arquivos e envio de e-mail. E nessa perspectiva, foi construído um indicador chamado Perfil Tecnológico (PT). Esse indicador é uma média ponderada, onde cada cursista tem sua representação determinada em função dos atributos que o mesmo

possui. Assim, serão esses atributos que definirão a maior ou menor aptidão no uso das ferramentas necessárias a um bom aproveitamento de um curso na modalidade EaD. O foco aqui não é apenas nos questionamentos em si, mas na proposta de um questionário servir de base para definição de características de indivíduos em relação ao uso das tecnologias relacionadas a cursos na modalidade EaD, as quais são considerados atributos. Para que, através destas características (atributos no modelo) sejam definidas afinidades entre esses indivíduos.

Cada atributo (A) possui um valor no intervalo de 0 (zero) a 3 (três), em uma escala crescente em função da representação de maior aptidão. Todas as questões deveriam ser respondidas com uma única opção. Assim, por exemplo, a questão "Com que frequência você acessa a internet?" passa a representar um atributo com os seguintes valores: 0 (zero) para resposta uma vez por semana; 1(um) para a resposta duas vezes por semana; 2 (dois) para a resposta quatro vezes por semana; e 3 (três) para a resposta diária. No caso de questões binárias, as respostas valiam 0 (zero) ou 3 (três). Assim, quem já tinha experiência em cursos EaD ganhava o valor máximo do atributo (que é três), e quem não tinha ganhava o valor mínimo (que é zero).

Foram estabelecidos quatro perfis de acordo com esse índice: baixo, baixo-médio, médio e alto. Um índice entre 0,00 e 1,49 indica um PT baixo, um índice entre 1,50 e 2,00 caracteriza um PT baixo-médio, um índice entre 2,1 e 2,5 indica um PT médio e um índice entre 2,6 e 3,0 indicam um PT alto.

As variáveis que compõem o PT foram definidas como atributos, e a similaridade das respostas dadas por esses participantes, considerada para identificar a afinidade entre os mesmos, e gerar as redes. Os dados das redes evidenciaram que a melhor opção foi considerar a rede com 60% de afinidade (tanto em 2010, como em 2012), pois este foi o maior valor de afinidade que ainda produzia uma rede onde não existem nós desconectados, ou seja, uma rede cujo grau mínimo foi maior que zero (Tabelas 2 e 3). Sugere-se que se opte sempre pela rede com maior afinidade, desde que o grau mínimo da rede seja maior que zero e não existam cursistas desconectados.

Esse modelo busca incorporar a complexidade e a aceitação das diferenças como ponto de partida para gestão pedagógica do curso, por isso uma das suas principais recomendações é que esforços sejam direcionados no sentido de agrupar cursistas com maior afinidade em grupo a serem acompanhados pelos professores, mesmo que isso represente o agrupamento de cursistas com diferentes PT. É esse detalhamento do processo de agrupamento a partir da formação das redes de afinidade baseada no PT que iremos discutir a seguir.

A formação de grupo por afinidade definida pelo PT sana uma das importantes lacunas apresentadas por Silveira (2006), que é a formação de grupos na EaD de forma aleatória. Sugere-se que os cursistas sejam organizados em grupos de no mínimo 20 e no máximo 30 cursistas. A formação desses grupos será realizada de acordo com a afinidade entre os cursistas. O IEGFTOOLS (CARNEIRO; MONTEIRO; PEREIRA, 2013) fornece o agrupamento dos cursistas considerando os parâmetros de no mínimo 20 e no máximo 30 cursistas por grupo.

Tabela 2 — Estatísticas básicas para selecionar a Rede dos cursistas do Pradime/EaD 2010 construída a partir da afinidade entre variáveis que compõem o PT.

Af	n=|V|	m=|E|	Δ	<k>	C	<k>m	L	D	E(G)	E_{loc}
0,1	46	1035	1	45,00	1	45	1	1	1	1
0,2	46	1025	0,99	44,56	0,99	40	1,00	2	0,99	0,99
0,3	46	971	0,93	42,21	0,94	35	1,06	2	0,96	0,97
0,4	46	861	0,83	37,43	0,87	25	1,16	2	0,91	0,93
0,5	46	638	0,61	27,73	0,75	12	1,38	2	0,80	0,87
0,6	46	387	0,37	16,82	0,65	3	1,73	3	0,66	0,82
0,7	46	153	0,14	6,65	0,52	0	2,44	6	0,41	0,71
0,8	46	43	0,04	1,86	0,27	0	2,39	5	0,08	0,38
0,9	46	8	0,00	0,34	0,06	0	1	1	0,00	0,06

Legenda: Af — afinidade, n=|V| — nº de vértices, m=|E| — nº de arestas, Δ = densidade, <k> — grau médio, C- coeficiente de aglomeração médio, <k>m — grau mínimo, L- caminho mínimo médio, D — diâmetro, E(G) — eficiência global, Eloc — eficiência local.

Fonte: Carneiro (2014).

Tabela 3 — Estatísticas básicas para selecionar a Rede dos alunos do Pradime/EaD 2012, construída a partir da afinidade entre variáveis que compõem o PT.

Af	n=|V|	*m*=|*E*|	Δ	<k>	C	<k>$_m$	L	D	E(G)	E$_{loc}$
0,1	68	2278	1	67,00	1	67	1	1	1	1
0,2	68	2254	0,99	66,29	0,99	56,00	1,01	2,00	0,99	1,00
0,3	68	2143	0,94	63,03	0,95	39,00	1,06	2,00	0,97	0,98
0,4	68	1844	0,81	54,24	0,87	17,00	1,19	2,00	0,90	0,93
0,5	68	1365	0,60	40,15	0,75	3,00	1,41	3,00	0,80	0,88
0,6	68	794	0,35	23,35	0,62	1,00	1,80	4,00	0,65	0,80
0,7	68	367	0,16	10,79	0,58	0,00	2,50	6,00	0,43	0,74
0,8	68	101	0,04	2,97	0,30	0,00	2,80	6,00	0,13	0,43
0,9	68	16	0,01	0,47	0,13	0,00	1,00	1,00	0,01	0,13

Legenda: Af — afinidade, n=|V| — nº de vértices, m=|E| — nº de arestas, Δ = densidade, <k> — grau médio, C- coeficiente de aglomeração médio, <k>m — grau mínimo, L- caminho mínimo médio, D — diâmetro, E(G) — eficiência global, Eloc — eficiência local.

Fonte: Carneiro (2014).

Essa recomendação de fazer agrupamento por afinidade e não por PT advém do reconhecimento de que o processo de construção de parcerias sempre resulta em aprendizagem para os envolvidos, mesmo que alguns participantes consigam resultados de forma mais efetiva e até menos dispendiosas, enquanto outros tenham poucos retornos, mesmo tendo realizado grandes esforços. O importante é que estes processos sempre proporcionam transformações aos envolvidos, fruto da trajetória do percurso desenvolvido, das ações realizadas e das decisões e posicionamentos tomados que se efetivaram durante a realização destas parcerias. E são estes aprendizados realizados ao longo da parceria, quando internalizados pelos parceiros envolvidos, que muitas vezes garantem a continuidade das parcerias iniciais, mesmo que sob uma nova perspectiva.

Realizado o agrupamento é necessário então avaliá-los em seu conjunto. Para isso são propostos três procedimentos: 1. Analisar o PT dos cursistas que compõem o grupo; 2. Analisar a centralidade dos

cursistas que compõem o grupo; 3. Identificar quais são os principais cursistas em termos de centralidade no grupo.

Para cada um destes procedimentos de análise é possível definir estratégias diferenciadas para acompanhamento do grupo. Considerando o propósito deste capítulo, focaremos nas estratégias que visam a formação de grupos (EG). É importante destacar que a realização destes procedimentos não precisa ser sequencial, é possível alterar a ordem de realização aqui proposta, pois não impacta na definição das estratégias a serem implementadas.

Após o procedimento 1 (analisar o PT dos cursistas por grupo), as estratégias propostas são:

a) Se a maioria dos cursistas possuir PT baixo e baixo-médio sugere-se que seja realizada uma forte articulação dos professores com os tutores de suporte operacional (EG_1), de modo que o acompanhamento dos cursistas realizado pelos professores responsáveis pelo desenvolvimento do conteúdo do curso seja realizado em parceria com os tutores responsáveis pelo suporte operacional;

b) Se a maioria dos cursistas tiver PT médio e alto sugere-se que seja dada atenção especial aos cursistas deste grupo que tenham baixo e baixo-médio PT, para que os mesmos não fiquem à margem do processo de discussão e produção do conhecimento (EG_2);

c) Se no grupo em questão o número de cursistas com PT maiores e menores for muito próximo, é importante ter atenção para que a questão da afinidade entre os cursistas não seja subjugada por diferença de PT (EG_3).

A Figura 1 mostra a definição das estratégias destinadas ao grupo (EG) — Terceira etapa do processo de planejamento e gestão pedagógica baseado em redes de afinidades do PT para cursos EaD.

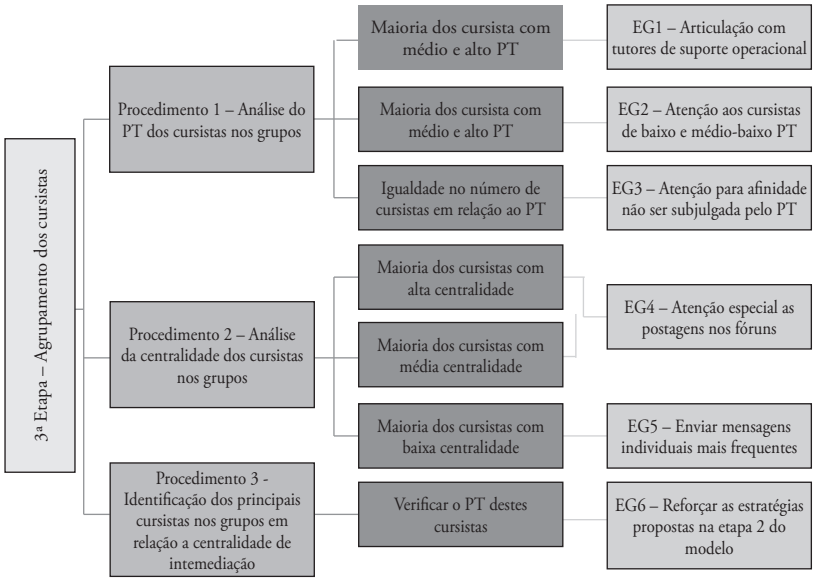


Figura 1 — Definição das estratégias destinadas ao grupo (EG) – Terceira etapa do processo de planejamento e gestão pedagógica baseado em redes de afinidades do PT para cursos EaD.

Fonte: Carneiro (2014).

Para o procedimento 2 (analisar a centralidade dos cursistas por grupo), propõem-se duas estratégias:

a) EG_4 — Atenção especial as postagens nos fóruns do grupo, uma vez que existe elevada centralidade, o impacto de uma postagem pode ser ampliado dada a maior facilidade de difusão da informação;

b) Enviar mensagens individuais de forma mais frequente, quando a centralidade dos cursistas do grupo for baixa (EG_5).

O procedimento 3 (identificar principais cursistas nos grupos em relação a centralidade de intermediação) propõe que sejam reforçadas as estratégias da etapa 2, uma vez que serão identificados os PT destes principais cursistas EG6.

No caso do Pradime/EaD, a afinidade mínima recomendada para que dois cursistas estejam no mesmo grupo é de 60%, uma vez que foi o percentual mais alto de afinidade que gerava uma rede conectada. Assim, foram formados três grupos, o grupo 1 e grupo 2 serão compostos por 22 cursistas e o grupo 3 terá 24 cursistas. A Tabela 4 apresenta a composição dos grupos de nosso estudo de caso, o Pradime/EaD 2012.

A Tabela 4 detalha o número de cursistas por tipo de PT em cada grupo, o que possibilita reforçar a importância de estratégias diferenciadas para cada cursista, principalmente quando se pensa na perspectiva de sua inserção em grupo. É possível perceber também que o fato de um cursista ter o mesmo PT não significará que terá a mesma afinidade, e isso torna o modelo de gestão proposto mais amplo, e possibilita que a riqueza das relações de cooperação, afinidade e difusão do conhecimento possam ser mais exploradas.

Tabela 4 — Equipes de estudo a serem acompanhadas pelos professores e tutores em função da afinidade na rede do PT e estratégias de grupo a serem implementadas.

Grupos	Cursistas	Quantidade de cursistas	Estratégias de grupo a serem implementadas
1	P2-1, P2-8, P2-10, P2-11, P2-21, P2-25, P2-33, P2-34, P2-47, P2-50, P2-2, P2-12, P2-14, P2-17, P2-26, P2-28, P2-29, P2-31, P2-32, P2-35, P2-38, P2-40	22	EG_1, EG_4
2	P2-41, P2-42, P2-46, P2-48, P2-49, P2-51, P2-52, P2-57, P2-60, P2-61, P2-65, P2-66, P2-3, P2-4, P2-5, P2-15, P2-18, P2-19, P2-24, P2-30, P2-37, P2-43	22	EG_2, EG_5
3	P2-44, P2-45, P2-53, P2-54, P2-55, P2-58, P2-64, P2-67, P2-68, P2-13, P2-6, P2-27, P2-36, P2-62, P2-7, P2-20, P2-22, P2-39, P2-56, P2-9, P2-59, P2-16, P2-23, P2-63	24	EG_3, EG_5

Fonte: Carneiro (2014).

O grupo 1 tem poucos cursistas com PT alto, logo esses poderiam sentir-se desestimulados. Todavia, com as estratégias propostas esses 5 cursistas podem ser convidados a realizar outras atividades, o que pode estimulá-los e minimizar o impacto de estarem em um grupo com outros cursistas que dominam pouco os recursos operacionais (Figura 2).

No grupo 2, as estratégias voltadas à questão do PT serão pouco aplicadas, uma vez que 10 cursistas possuem PT alto e 7 possuem PT médio. Todavia, caso o modelo não contemplasse um tratamento diferenciado aos cursistas com baixo PT, cinco cursistas deste grupo poderiam apresentar maiores dificuldades no processo de interação, pois estariam em um grupo onde a maior parte domina o uso dos recursos tecnológicos e isso poderia causar constrangimento. Mas, ao ter o suporte operacional proposto pelo modelo e participar de um grupo definido por afinidades, amplia-se a possibilidade de estes cursistas de baixo PT terem êxito, uma vez que superada questão operacional, eles poderão se sentir mais estimulados a participar em um grupo em que tenham afinidade com os demais (Figura 2).

Os responsáveis pelo acompanhamento do grupo 3 terão um grande desafio, pois o grupo subdivide-se em dois subgrupos com o mesmo número de cursista, mas com perspectivas diferentes em relação ao PT: 12 cursistas com baixo e baixo-médio PT e 12 cursistas com médio e alto PT. Este grupo será o mais complexo em termos de acompanhamento, pois a questão da afinidade poderia ser subjugada ante as fortes diferenças em termos de PT. Daí ter estratégias diferenciadas será muito importante ao longo do processo de acompanhamento deste grupo (Figura 2).

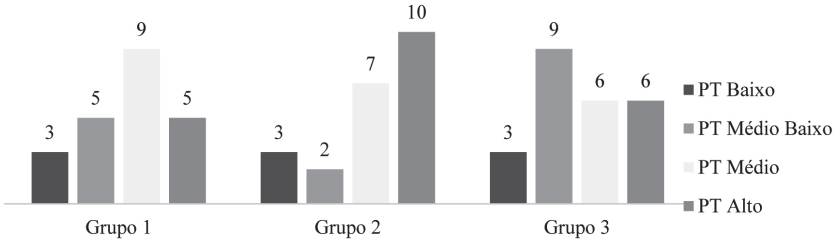


Figura 2 — Número de cursistas por tipo de PT nos grupos definidos pela afinidade — Pradime/EaD2012.

Fonte: Carneiro (2014).

Quando considerada a formação de grupos e o ranque de centralidade (Figura 3), percebe-se que o grupo 1 será aquele em que haverá maior facilidade em termos de difusão do conhecimento, uma vez que é o grupo com o maior número de cursistas com elevado ranque de centralidade. Considerando que o PT deste grupo também é mais favorável já que 14 cursistas têm PT médio e alto, este tende a ser um grupo de fácil acompanhamento por isso indica-se apenas a EG_4.

O grupo 2 em termos de centralidade terá que ser muito bem acompanhado, pois são poucos os cursistas com elevada centralidade (apenas 3) e muitos com baixa centralidade (13). Todavia, como neste grupo a questão do PT não deve representar um desafio, esse grupo também não será um grupo difícil de ser acompanhado. Será necessária atenção ao processo de difusão de conhecimento, por isso indica-se a estratégia EG_5.

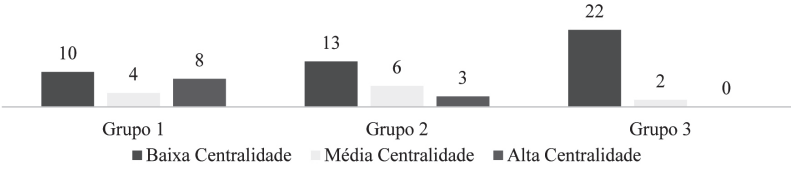


Figura 3 — Número de cursistas por ranque de centralidade nos grupos definidos pela afinidade — Pradime/EaD2012.

Fonte: Carneiro (2014).

Novamente, o grupo 3 será o maior desafio para os profissionais que o acompanharão, pois não há nenhum cursista com alta centralidade de intermediação e a maioria possui baixa centralidade (93%). Este grupo 3 demandará dos gestores uma atenção especial, pois os profissionais (professores e tutores) a serem alocados para acompanhá-lo devem ser muito experientes e muito bem orientados sobre o desafio que irão enfrentar neste processo. Indicam-se as estratégias EG_3 e EG_5.

Feito esse agrupamento, avaliado o perfil de cada grupo em relação ao PT e em relação à centralidade, o próximo passo será identificar os cursistas mais relevantes em termos de centralidade em cada grupo e verificar quais estratégias devem ser implementadas em função do PT com base nas estratégias definidas na etapa 2.

É importante que ao longo de todo o processo de implementação das estratégias aqui propostas seja realizada constantes avaliações dos resultados alcançados, seguindo os moldes de gestão por planejamento, onde constantes avaliações são realizadas ao longo do processo para auferir o retorno e sucesso das estratégias implementadas.

Assim, aceitando que as tecnologias possibilitam novos conhecimentos e que na EaD o aluno é o centro do processo, é que o modelo de gestão proposto centra-se no perfil tecnológico dos cursistas, focando na gestão pedagógica do curso. Um modelo que possibilita identificar afinidades com base nas características destes cursistas, e a partir destas, definir estratégias de gestão, e tudo isso tendo como base teórica a Teoria de Redes.

REFLEXÕES SOBRE A PRODUÇÃO E DIFUSÃO DO CONHECIMENTO NA FORMAÇÃO DOCENTE: ANÁLISE DE REDES SEMÂNTICAS

A ciência que conhecemos hoje, durante anos, esteve comprometida e sustentou suas bases na objetividade e a linearidade. Assim se forjou, se aprimorou e auxiliou a humanidade com seus feitos. Todavia, na atualidade, novos questionamentos científicos educacionais sur-

giram e, para tentar responder a essas questões, necessitamos aperfeiçoar outros vieses epistemológicos para a ciência e, especificamente, para a educação.

Ao expor reflexões sobre o processo de produção e difusão do conhecimento na formação docente, identificamos uma falha que denominamos de ego acadêmico. Entendemos por ego acadêmico a falta de conexão entre o discurso de um docente pesquisador e a produção do conhecimento e a práxis pedagógica. A manifestação do ego acadêmico repercute na limitação da capacidade do indivíduo intelectualizado compreender ou enxergar outras realidades além do seu próprio campo de estudo especializado, o deixando cada vez mais distante do fazer educativo.

Parece ser razoável afirmar que o ego acadêmico é um vício acadêmico que leva os profissionais a pensarem sobre si mesmos como o centro do conhecimento. Assim, ao invés de estabelecerem redes de colaborações científicas, optam pelo isolamento por negação às interlocuções.

Quando nos propusemos a realizar essa investigação, notamos a necessidade e importância de aprofundarmos os estudos sobre a universidade, currículos de cursos e formação docente. Pois, cremos que o ego acadêmico é um elemento constituinte do próprio indivíduo, mas há uma propensão de se manifestar quando o indivíduo está em comunidade.

Se formos capazes de averiguar o ego acadêmico na formação docente, poderemos nos aproximarmos de uma proposição para minimizar a lacuna entre o discurso de um docente pesquisador e sua produção do conhecimento e práxis pedagógica.

Dentro desse contexto, escolhemos como campo de pesquisa os currículos cadastrados na Plataforma Lattes de docentes de uma área de conhecimento da educação. Especificamente, optamos por estudar o discurso dos títulos da produção intelectual dos docentes, considerando como objeto de pesquisa os títulos das produções intelectuais (i.e. títulos de suas teses de doutorado, títulos de artigos publicados

em periódicos nos últimos cinco anos e títulos das teses e dissertações de seus orientados nos últimos cinco anos). Ademais, cabe lembrar que usamos como critérios os currículos dos docentes que possuem o título de doutoramento e são docentes de programas de pós-graduação *stricto sensu*.

A partir dos títulos das produções intelectuais supracitadas, construímos redes semânticas usando o método proposto por Caldeira (2005) e Caldeira et al. (2006) em que "cada título forma uma rede na qual todos os vértices (i.e. palavras) estão conectados entre si, formando assim cliques ou subgrafos completos" (FADIGAS et al., 2009, p. 169).

Agora, cabe-nos justificar a necessidade e importância de aprofundarmos os estudos sobre a universidade, currículos de cursos e formação docente. Para tanto, apresentaremos, a seguir, algumas reflexões acerca dos processos hiperespecialização e hiperdisciplinazação, para melhor compreendermos o contexto que estamos discutindo.

HIPERESPECIALIZAÇÃO, HIPERDISCIPLINAZAÇÃO E A UNIVERSIDADE

Analisemos os marcos teóricos do conhecimento que compuseram a ciência e as estruturas fundantes da modernidade científica para aprofundarmos melhor esses questionamentos a respeito da hiperdisciplinarização e hiperespecialização, assim:

> [...] deve-se evocar aqui o 'grande paradigma do Ocidente', formulado por Descartes e imposto pelo desdobramento da história europeia a partir do século XVII. O paradigma cartesiano separa o sujeito e o objeto, cada qual na esfera própria [...]. (MORIN, 2002, p 26).

Esse paradigma nos descreve que, a partir do século XVII, as atividades científicas estariam essencialmente interligadas à utilização, estruturação e a construção de ferramentas e instrumentos que, quando apropriados, poderiam possibilitar a produção e reprodução de um determinado conhecimento mais exato e preciso.

Desde então, o fragmentar para conhecer é legitimado, gerando consequências diretas na produção do saber, o início da especialização do conhecimento, alcançando assim também os alicerces da produção de conhecimento da universidade. Com esses processos, as instituições de ensino superior fazem ciência pelo veio da razão pura e repete a dicotomia sujeito e objeto. A educação ganha como herança da modernidade científica um método mais sistemático para se pesquisar e produzir conhecimento; e este é um instrumento muito válido diante das demandas existentes.

Esses avanços trouxeram benefícios e malefícios. Assim, concordamos com Morin (2002, p. 101) quando afirma que os "avanços disciplinares das ciências não trouxeram apenas as vantagens da divisão do trabalho, trouxeram também os inconvenientes da hiperespecialização, do parcelamento e da fragmentação do saber". A hiperdisciplinarização é o excesso de fragmentação disciplinar e hiperespecialização é o excesso de especialização em uma determinada área do conhecimento.

Ao trabalharmos de maneira interdisciplinar, estamos necessariamente laborando em comunidade, talvez amenizando ou evitando um possível isolamento intelectual gerado pela hiperdisciplinarização. Entretanto, o que percebemos é uma escolha pelo caminho hiperdisciplinar, que por definição é fragmentado.

Essa tendência fragmentária, hiperdisciplinarizada, carrega em si um risco da "chegada ao poder de ideias monolíticas e toscas, é o monótono mundo em que alguns de nós vivemos hoje, um mundo que só obedece a ditames científicos e imperativos econômicos" (FEYERABEND, 2005, p. 13). Podemos assim esquecer o principal sentido de produzir ciência, que seria a busca para as possíveis resoluções das demandas globais.

Nesse cenário, por consequência da hiperdisciplinarização, nascem indivíduos hiperespecializados. Segundo Morin (2002),

> De fato, a hiperespecialização impede tanto a percepção do global (que ela fragmenta em parcelas), quanto do essencial (que ela dissolve). Im-

> pede até mesmo tratar corretamente os problemas particulares, que só podem ser propostos e pensados em seu contexto. (MORIN, 2002, p. 41).

A ciência avança nesses moldes e naturalmente começa a reescrever os currículos universitários. Nesse sentido, "a hiperdisciplinarização e sua proliferação vão se constituir na opção da modernidade científica, no que concerne à organização das formações institucionalizadas" (MACEDO, 2012, p. 34), interferindo diretamente na formação discente e docente.

Na época atual, a hiperdisciplinarização constitui uma das condutas formativas comuns na universidade e nas formações educacionais. Nesse contexto, é apropriado ressaltar a máxima que diz que 'a diferença entre um remédio e um veneno, encontra-se na sua dosagem'. Não podemos, portanto, perder a visão da complexidade do todo, de como os conhecimentos são extremamente enraizados uns nos outros.

Ainda como desdobramento do pensamento hiperespecializado, Morin (2005) argumenta que a

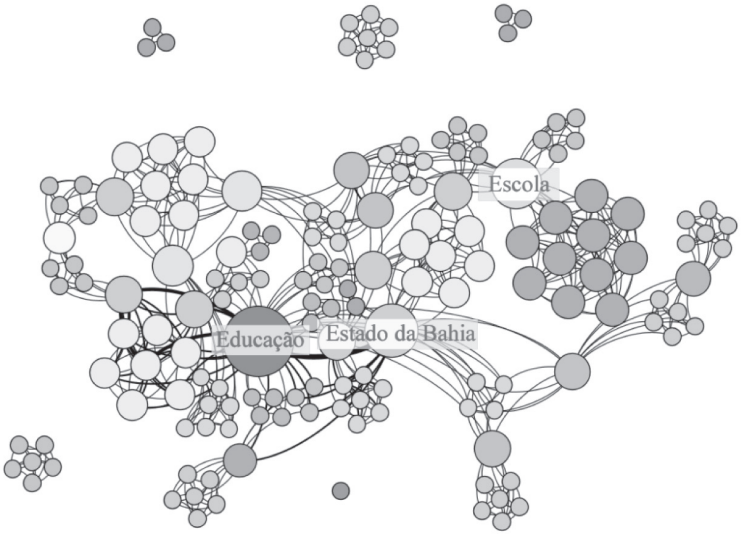
> hiperespecialização dos saberes disciplinares reduziu a migalhas o saber científico (que só pode ser unificado em níveis de elevada e abstrata formalização), sobretudo nas ciências antropossociais, que têm todos os vícios da sobreespecialização sem ter suas vantagens[...] (MORIN, 2005, p. 119).

Sendo assim, os conceitos e fundamentos que compreendem várias disciplinas estão fragmentados. A partir daí, acreditamos que nascem questões que dificultam a práxis educacional, a produção e a difusão do conhecimento de maneira fecunda com as questões essências para o ser humano. Assim, realizamos uma aproximação, com base na teoria de redes, às consequências do ego acadêmico na produção e difusão do conhecimento e a influência desses processos na formação docente. Isso foi possível devido à disponibilidade do objeto de estudo (i.e. os títulos das produções intelectuais), já apresentado no início desta seção.

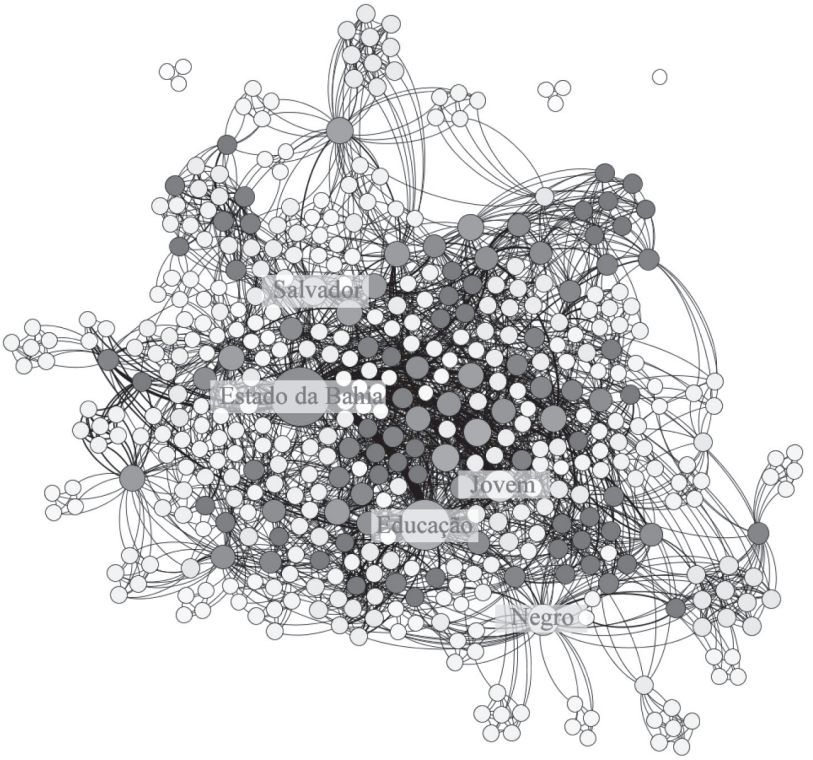
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como já introduzido, utilizamos a teoria de redes como ferramenta metodológica para subsidiar nossa pesquisa. Especificamente, trabalhamos com redes semânticas formadas a partir dos títulos das produções intelectuais de docentes. Esse tipo de rede, como um instrumento de análise e suporte aos estudos qualitativos, proporciona ao pesquisador uma visão objetiva, de modo que sua compreensão é favorecida pelos resultados quantitativos (i.e. propriedades da rede), inspeção visual (representação visual da rede) e interpretação qualitativa e quantitativa.

Usando redes semânticas como ponto de partida, verificamos ser possível iniciar o processo de averiguação do ego acadêmico na formação docente com o auxílio das redes semântica baseadas no "discurso" da produção intelectual dos currículos investigados. As Figuras 4a e 4b apresentam as redes semânticas da produção intelectual dos docentes.



a) Rede semântica dos títulos das teses e títulos dos artigos em periódicos dos docentes.



b) Rede semântica dos títulos das teses, títulos dos artigos em periódicos dos docentes, e dos títulos das dissertações e teses seus orientados.

Figura 4 — Redes semântica da produção intelectual dos docentes.

Fonte: Elaborado pelos autores.

A rede semântica apresentada na Figura 4a é composta pelos títulos das teses e artigos publicados em periódicos (nos últimos cinco anos) de onze docentes que atuam em programas de pós-graduação *stricto sensu* na área educação. Ademais, os docentes cujos currículos foram selecionados atuam na área de currículo em uma universidade estadual baiana. A linha 1 da Tabela 5 apresenta as propriedades desta rede.

Tabela 5 — Estatísticas básicas Redes semântica da produção intelectual dos docentes.

Redes Semânticas	**n=|V|**	**m=|E|**	**Δ**	**<k>**	**C**	**L**	**D**	**E(G)**	**E_{loc}**
RS da Figura 33a	162	603	0,046	7,44	0,85	2,38	9	0,05	0,91
RS da Figura 33b	450	2.521	0,025	11,20	0,86	2,94	5	0,36	0,93

Legenda: =|V| — nº de vértices, m=|E| — nº de arestas, Δ = densidade, <k> — grau médio, C- coeficiente de aglomeração médio, L- caminho mínimo médio, D — diâmetro, E(G) — eficiência global, Eloc — eficiência local

Fonte: Elaborado pelos autores.

A rede semântica (Figura 4a) é constituída por 162 vértices (palavras únicas) e 603 arestas (conexões entre os vértices que aparecem no mesmo título). A rede é esparsa (Δ = 0,046) e possui grau médio de 7,44 que significa que os conceitos (i.e. vértices) usados pelos docentes pesquisadores nos títulos de suas produções intelectuais estão conectados a aproximadamente sete outros conceitos. Isso sugere-nos que os docentes usaram nos títulos de suas teses e títulos dos artigos em periódicos um vocabulário não tão amplo (provavelmente por conta das especificidades de suas produções.

O diâmetro indica-nos, após a formação da rede, o uso de conceitos diversos, uma vez que entre os vértices mais distantes, existem nove conceitos que os separam. Esse valor para o diâmetro pode ser um indício de uma diversidade de conceitos encontrada nas diferentes produções intelectuais; a produção de cada docente pesquisador apresenta especificidades representadas por distintos vocabulários.

O caminho mínimo médio informa que em média a distância entre os conceitos é aproximadamente 2. O coeficiente de aglomeração médio é muito alto (C = 0,85, onde $0 \leq C \leq 1$). Essa propriedade indica que os vizinhos dos conceitos são vizinhos entre si, i.e. há transitividade. O motivo principal desses resultados é explicado pelo método de construção das rede (CALDEIRA, 2005; FADIGAS et al., 2009; PEREIRA et al., 2011).

A rede semântica (Figura 4a) é pouco eficiente globalmente e muito eficiente localmente. Isso significa que, apesar das palavras usadas pelos docentes nos títulos de sua produção intelectual são específicas e representadas por distintos vocabulários; não obstante, do ponto de vista local, há indícios de uma concisão nos títulos de cada docente.

Do ponto de vista da importância dos vértices, podemos averiguar que o vértice de maior grau (k = 37) é "educação" (destacado na Figura 4a). Parece razoável afirmar que esse resultado é devido a área em que os docentes pesquisadores estão inseridos. O segundo vértice (k = 25) mais influente é "estadodabahia" (destacado na Figura 4a). Podemos considerar que as palavras não são representativas, uma vez que são palavras genéricas. As palavras "currículo" e "currículoescolar" possuem k = 16 e k = 7, respectivamente. Os docentes não usam essas palavras nos títulos de suas produções intelectuais em comparação com as palavras "educação" e "estadodabahia". Essa constatação sugere-nos a grosso modo que os docentes optam por batizarem em seus títulos com palavras dissociadas da especificidade de sua área de atuação. Por outro lado, podemos especular, pelos resultados, que há pelo menos uma falta de interesse em publicar sua produção na área de currículo.

A segunda rede semântica representada na Figura 4b é formada por títulos das teses, títulos dos artigos em periódicos dos docentes e títulos das dissertações e teses seus orientados (nos últimos cincos anos). Esta rede é composta por 450 vértices (palavras únicas) e 2521 arestas. Os valores das demais propriedades desta rede são apresentados na linha 2 da Tabela 5.

A rede é esparsa (Δ = 0,025) e possui grau médio de 11,2 que significa que os conceitos (i.e. vértices) usados pelos docentes pesquisadores nos títulos de suas produções intelectuais estão conectados a aproximadamente onze outros conceitos. Isso sugere que os docentes usaram nos títulos de suas teses e títulos dos artigos em periódicos e dos títulos das dissertações e teses seus orientados um vocabulário mais amplo em

comparação ao vocabulário da rede semântica anterior (provavelmente por conta da inclusão do vocabulário de outras pessoas).

As explicações sobre as propriedades (i.e. diâmetro, o caminho mínimo médio e o coeficiente de aglomeração médio) dessa rede são similares às da rede anterior.

A rede semântica dos títulos das teses, títulos dos artigos em periódicos dos docentes, e dos títulos das dissertações e teses seus orientados (Figura 4b) é eficiente globalmente e muito eficiente localmente. Isso significa que a união das palavras usadas pelos docentes e seus orientados nos títulos de sua produção intelectual permitiu um vocabulário maior, porém o uso das palavras é mais frequente, portanto mais conectado.

Considerando a análise da importância dos vértices dessa rede (Figura 4b), podemos constatar que os vértices de maiores importâncias invertem-se na ordem de classificação em relação à rede anterior (Figura 4a). O vértice "estadodabahia" com k = 146 (destacado na Figura 4b) é mais influente que "educação" com k = 119 (destacado na Figura 4b). Mais uma vez essas palavras que possuem maiores conexões que todas as outras. A palavra "currículo" com k = 39 mais uma vez é pouco relacionada quando comparada com as duas supracitadas.

Após uma analisarmos ambas as redes, podemos afirmar que as pesquisas dos 11 docentes pesquisadores destacam o estado em que atuam, refletindo também nos estudos dos seus orientandos. Esse isolamento da produção intelectual dos docentes é o que nos subsidia na constatação do ego acadêmico. É notadamente visível, pois além de refletir nos próprios estudos, perpetua-se nos estudos de seus discentes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esperamos ter mostrado ao longo deste capítulo como a teoria de redes pode ser aplicada a estudos na educação, a partir da apresentação dessas duas pesquisas: uma tese e uma monografia.

Muito além disso, o que esperamos ter conseguido é despertar, entre os leitores, a compreensão que a teoria de redes não se limita a quantificações de relações. Ela é muito mais que isso. Usá-la em estudos na área da educação abre uma infinidade de possibilidades, em diferentes contextos e níveis de complexidade de pesquisa, desde uma monografia até uma tese de doutorado, como mostramos aqui.

Considerando a primeira pesquisa apresentada aqui, se por um lado, as propostas para gestão em educação devem priorizar uma forma mais aberta à interação, integração, inovações tecnológicas e às novas formas de gestão mais flexíveis e adaptáveis para a construção do conhecimento. Por outro, é necessário é necessário compreender que os estudantes possuem características diferenças, aceitá-las e buscar incorporá-las ao processo educacional. Nesse sentido, a tecnologia e a teoria de redes podem ser importantes aliados nesse processo de melhoria da gestão de cursos EaD. Isso pode ser constatado na pesquisa Redes de afinidade como estratégia de gestão pedagógica e difusão do conhecimento em cursos na modalidade a distância.

O estudo sobre o Ego Acadêmico evidenciou um isolamento intelectual na atual estrutura de trabalho do grupo de docentes pesquisadores, tendendo a gerar perda no processo de criação e difusão de conhecimento, assim como a continuidade desses processos na práxis educacional na universidade onde atuam. Isto parece-nos contraditório, já que os eles atuam no âmbito educacional, especificamente na área de currículo, onde as interlocuções deveriam ser mais significativas.

O uso da teoria de redes como ferramenta de pesquisa que favorece a aproximação inter ou multidisciplinar, oferece-nos a possibilidade de refletir sobre os envolvidos e sobre suas práticas laborais na condição de docente pesquisador, a partir do "discurso" de seus currículos em termos de produção intelectual.

Sim, podemos pensar em outras possibilidades para evidenciar esse mesmo processo de hiperespecialização (e.g. entrevistas), mas a teoria de redes torna o processo mais objetivo, respaldado em algo concreto,

que, na nossa pesquisa, são as produções intelectuais desse grupo, o que minimiza possíveis críticas relacionadas à subjetividade do estudo.

Enfim, acreditamos que o uso da Teoria de Redes serviu para evidenciar de forma pragmática as possibilidades da aplicação dessa teoria em estudos no âmbito das ciências humanas, e especificamente no contexto educacional. Nossa proposição contribui com o desenvolvimento de pesquisas em difusão do conhecimento, tecnologia e formação.

REFERÊNCIAS

BARABÁSI, A. L.; ALBERT, R. Emergence of Scaling in Random Networks. **Science**, v. 286, p. 509-512, 1999.

CALDEIRA, S. M. G. **Caracterização da rede de signos lingüísticos**: um modelo baseado no aparelho psíquico de Freud. 2005. Dissertação (Mestrado em Modelagem Computacional) — Fundação Visconde de Cairu, Bahia.

CALDEIRA, S. M. G. et al. The network of concepts in written texts. **EPJ B**, v. 49, p. 523-529, 2006.

CARNEIRO, T. K. G. **Redes de afinidade como estratégia de gestão pedagógica e difusão do conhecimento em cursos na modalidade a distância**. 2014. 150f. Tese (Doutorado em Difusão do Conhecimento) — Faculdade de Educação, Universidade Federal da Bahia, Bahia.

CARNEIRO, T. K. G.; MONTEIRO, R. L. S.; PEREIRA, H. B. B. **Evaluate the Genetic Fitness of an Individual (IEGFTOOLS)**. 2013. BR.5120130008425, 13 Ago. 2013.

ERDÖS, P.; RÉNYI, A. On the evolution of random graphs. **Publications of the Mathematical Institute of the Hungarian Academy of Sciences**, n. 5, p. 17-61, 1960.

EULER, L. Solutio problematis ad geometriam situs pertinentis. **Commentarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae**, v. 8, 1736, p. 128-140.

FADIGAS, I. S. et al. Análise de redes semânticas baseada em títulos de artigos de periódicos científicos: o caso dos periódicos de divulgação em educação matemática. **Educ. Mat. Pesqui.**, v. 11, n. 1, p. 167-193, 2009.

FEYERABEND, P. K. **A conquista da abundância**. São Leopoldo: Unisinos, 2006.

GROSS, J. T.; YELLEN, J. **Graph theory and its applications**. Boca Raton: CRC Press, 1999.

MACEDO, R. S. **Currículo, campo, conceito e pesquisa**. 5. ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2012.

MILGRAM, S. The small-world problem. **Psychology Today**, v. 2, p. 60-67, 1967.

MONTEIRO, R. L. S. et al. Evolution based on chromosome affinity from a network perspective. **Physica A**: statistical mechanics and its applications, v. 403, p. 276-283, 2014.

MORIN, E. **Os setes saberes necessários para educação do futuro**. 6. ed. São Paulo: Cortez, 2002.

_____. **Ciência com consciência**. 8. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

MORENO, J. L. **Who shall survive?** Washington DC: Nervous and Mental Disease Publishing Company, 1934.

PEREIRA, H. B. B. Redes sociais e complexas: aplicações em difusão do conhecimento. **Academia de Ciências da Bahia**: Memória, v. 3, p. 39-47, 2013.

PEREIRA, H. B. B. et al. Semantic networks based on titles of scientific papers. **Physica A**: statistical mechanics and its applications, v. 390, p. 1192-1197, 2011.

QUARTO, C. C. et al. Considerando o fator sócio-afetivo afinidade social em ambientes de ensino-aprendizagem colaborativos assistidos por computador. In: WORKSHOP SOBRE INFORMÁTICA

NA ESCOLA, 8., CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO, 26., 2007, Rio de Janeiro. **Anais eletrônicos…** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Computação, 2007.

SILVEIRA, S. R. **Formação de grupos colaborativos em um ambiente multiagente interativo de aprendizagem na Internet**: um estudo de caso utilizando sistemas multiagentes e algoritmos genéticos. 2006. 125f. Tese (Doutorado em Ciência da Computação), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2006.

SOLOMONOFF, R.; RAPOPORT, A. Connectivity of random nets. **Bulletin of Mathematical Biophysics**, v. 13, p. 107-117, 1951.

WASSERMAN, S.; FAUST, K. **Social network analysis**: methods and applications. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.

WATTS, D. J.; STROGATZ, S. H. Collective dynamics of small-world networks. **Nature**, v. 393, n. 4, p. 440-442, 1998.

ZAMBANINI, M. E.; OLIVEIRA, T. E.; SILVEIRA, M. A. P. Afinidade em redes sociais e sua relação com disposição em colaborar: análise de caso em uma pequena empresa. **Revista Gestão Industrial**, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, v. 8, n. 4, p. 69-88, 2012.

Capítulo VII

DECOMPOSIÇÃO DE SINAIS PARA DETECÇÃO DE EPILEPSIA

Carlos Alberto Orge Pinheiro
Valter de Senna

DECOMPOSIÇÃO DE SINAIS PARA DETECÇÃO DE EPILEPSIA

A epilepsia atinge cerca de 2% da população mundial conduzindo à redução da produtividade e impondo restrições na vida diária. Seu diagnóstico é feito através da análise das flutuações rítmicas do cérebro descritas no eletroencefalograma (EEG). A detecção requer a seleção das flutuações rítmicas anormais, descritas por um traçado com forma de onda aguda. Acontece que essa detecção, além de ser um processo trabalhoso, demorado e impreciso pode, por conta da subjetividade, apresentar diferentes análises. Deste modo, modelos matemáticos utilizados para o processamento de sinal passam a desempenhar papel importante na detecção automática da epilepsia. Tal importância pode ser vista com a evolução de transformações discretas e de decomposição através dos modelos: Transformada Discreta de Wavelet (TDW), Decomposição em Valor Singular (DVS), Decomposição em Modo Empírico (DME) e Análise de Componentes Principais (ACP). Dentro desse contexto, será apresentada uma síntese de cada um dos modelos para, em seguida, descrever as pesquisas e resultados além dos desafios dados para os algoritmos de detecção da epilepsia.

INTRODUÇÃO

Classificada como uma desordem neurológica que afeta o cérebro, a epilepsia atinge cerca de 2% da população mundial levando à redução da produtividade e impondo restrições na vida diária, sendo a Epilepsia do Lobo Temporal (ELT) a mais frequente. Seu diagnóstico é feito através da análise das flutuações rítmicas do cérebro descritas no eletroencefalograma (EEG). Essas flutuações rítmicas são representadas pela amplitude (flutuações em milionésimo de volt) numa determinada frequência (ciclos por segundo ou Hertz (Hz)), constituindo o sinal.

O sinal é obtido pela aplicação de eletrodos no couro cabeludo ou por aplicação intracraniana. Os eletrodos colocados no couro cabeludo fazem uso de gel condutor, a fim de diminuir a impedância resultante das células mortas, depois que a área do couro cabeludo é tratada com uma leve abrasão. Outra possibilidade é dispor os eletrodos diretamente sobre a superfície exposta do cérebro, durante uma cirurgia, para gravar os sinais a partir da camada mais externa do cérebro ou córtex cerebral.

O processo de detecção da epilepsia é feito com base nos sinais obtidos a partir de um eletrodo (canal único) ou de alguns eletrodos (multicanal). A detecção requer a seleção daquele(s) canal(is) que contenha(m) o(s) sinal(is) mais representativo(s) da epilepsia, ou seja, das flutuações rítmicas anormais, descritas por um traçado com forma de onda aguda.

Acontece que essa detecção, através da análise visual das formas de ondas agudas, além de ser um processo trabalhoso, demorado e impreciso pode, por conta da subjetividade, apresentar diferentes análises quando realizada por dois neurofisiologistas. Visando contornar essas dificuldades, uma das primeiras pesquisas para detectar a epilepsia foi publicada por Gotman e Gloor, em 1976. O algoritmo desenvolvido tinha por base a extração de algumas características (medidas estatísticas) dos sinais.

Anos mais tarde, os modelos matemáticos utilizados para o processamento de sinal passam a desempenhar papel importante na detecção automática da epilepsia. Tal importância pode ser vista com a evolução de transformações discretas e de decomposição através dos modelos: Transformada Discreta de Wavelet (TDW), Decomposição em Valor Singular (DVS), Decomposição em Modo Empírico (DME) além da Análise de Componentes Principais (ACP).

Dentro desse contexto, será apresentada uma breve síntese de cada um desses modelos para, em seguida, descrever as pesquisas incluindo os avanços e os resultados obtidos além dos desafios dados para a detecção automática da epilepsia.

TRANSFORMADA DISCRETA DE *WAVELET*

Joseph Fourier, em 1804, iniciou seus estudos sobre a propagação do calor em corpos sólidos e, três anos depois, apresentou sua pesquisa para a comunidade cientifica. Seu estudo indicava que qualquer função no tempo poderia ser representada por uma soma de senos e cossenos. Mais tarde, em 1812, sua pesquisa foi inscrita em uma competição matemática. Laplace, Lagrange e Legendre, avaliadores na competição, acusaram o trabalho de ausência de rigor, sendo publicado 10 anos mais tarde.

A partir de então, as transformadas de Fourier passaram a ser utilizadas para processamento de sinais estacionários (aqueles em que não há alterações das características) uma vez que o espectro de frequência desses sinais não variava com o tempo. Acontece que, no caso de sinais não estacionários, a Transformada de Fourier (TF) não era capaz de permitir a associação dos eventos com seu intervalo de tempo.

Então, em 1946, ao perceber a dificuldade de aplicar a série de Fourier em sinais não estacionários, Denis Gabor promoveu modificações na série original de Fourier dividindo-a em janelas de tamanho fixo, nas quais seria aplicada a TF separadamente. Essa transformada ficou conhecida na literatura como Transformada de Fourier Janelada (TFJ).

A TFJ ainda apresentava uma deficiência, dado que os sinais de maior frequência possuíam um período pequeno, enquanto que os sinais de baixa frequência maior período. Dessa forma, a escolha do tamanho da janela tornava-se trabalho difícil. Isso porque, caso fosse feita para possuir melhor resolução no tempo, comprometia-se a resolução em frequência e vice-versa.

Por esse motivo, surge a necessidade de uma transformada com múltiplas escalas, de forma que o tamanho da janela seria variável em relação à frequência, ou seja, frequências maiores iriam possuir janelas menores e frequências menores, janelas maiores. Pensando nisso, o matemático húngaro, Alfred Haar, ao escrever sua Tese na qual não explicita o conceito das *wavelets* (pequena onda), utilizou o conjunto de sinais que constituiu o primeiro sistema *wavelet*.

Proposto por Jean Morlet, o conceito de *wavelet* teve a colaboração do Centro de Física Teórica, na França, supervisionado por Alex Grossmann. A partir de então, as *wavelets* passaram a ser mais estudadas e, em 1987, Ingrid Daubechies criou famílias de *wavelets*. Atualmente, as *wavelets* vêm sendo utilizadas para decomposição de sinais.

DECOMPOSIÇÃO EM VALOR SINGULAR

DVS não é relativamente recente na matemática. Ela foi descoberta independentemente por Beltrami em 1873, Jordan em 1874 e Sylvester em 1889. Outros trabalhos semelhantes estão disponíveis na literatura, a exemplos dos realizados por Autonne em 1915, Tagaki em 1925, Williamson em 1935 e Eckart e Young em 1939.

Mas, apesar desses trabalhos, não se tornou amplamente conhecida na matemática até o final dos anos 1960, quando foi demonstrado que poderia ser usada como a base para muitos algoritmos estáveis. Assim que, em 1965, Golub e Kahan introduziram a DVS na análise numérica e no ano de 1970 Golub propôs um algoritmo para a sua computação. Através dele, uma matriz poderia ser decomposta em outras matrizes (matrizes elementares). Em meados da década de 1970 e nos anos 1980, surge a Decomposição em Valor Singular Generalizada (DVSG), cujas aplicações são importantes na comparação de sequências de genomas.

O que a faz tão importante é sua variedade de aplicações. Dentre elas, a possibilidade de auxiliar na compressão de imagens, reconstrução de imagens, decodificação de mensagens cifradas além da decomposição de sinais e, em especial de sinais biomédicos e eliminação de artefatos (interferências de outras fontes no traçado do EEG).

DECOMPOSIÇÃO EM MODO EMPÍRICO

A DME proposta em 1998 por Norden Huang e outros pesquisadores, é um algoritmo de decomposição de sinal, que tem por base a hipótese que todo e qualquer sinal é constituído pela soma de vários componentes elementares, chamados modos intrínsecos (IMF —

Intrinsic Mode Function — em inglês). Assim, as IMFs são determinadas através de um processo iterativo denominado por algoritmo de peneira, cujo objetivo é o de representar o sinal original com base na soma de algumas IMFs. Nesse processo de peneira, o ruído é eliminado.

Mais tarde, em 2006, Tanaka e Mandic, com base nos pressupostos do modelo DME, elaboraram outro algoritmo cuja versão é bivariada. Neste caso, é possível considerar para o processo de decomposição de sinais o uso de dois sinais. Surge, portanto, abordagem cuja análise é bivariada. Em seguida, outra extensão para DME é proposta por Rehman e Mandic. Nesse novo estudo as projeções dos sinais são feitas em espaços tridimensionais.

Mais recentemente, em 2009, Rehman e Mandic propõem novo algoritmo. Agora a análise é multivariada e surge o modelo Decomposição em Modo Empírico Multivariada (DMEM). Com isso, os sinais passam a ser decompostos, mas, não baseados num sinal único. A base agora é dada por um conjunto de sinais. Os resultados obtidos pelos autores permitiram a decomposição dos sinais investigados e eliminação de ruído tanto para o conjunto de sinais simulados bem como para os sinais coletados através do EEG.

ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

A ACP foi introduzida no início do século passado por Karl Pearson e, mais tarde, fundamentada por Hotelling. Também é conhecida como transformada de Karhunen-Loève (TKL), Transformada de Hotelling (TH) ou Decomposição Ortogonal Própria (DOP). Na pesquisa de Hotelling, em 1933, o autor concentrou seus estudos sobre as componentes principais que capturavam a maior variabilidade do conjunto de observações.

Trata-se, portanto, de um modelo matemático que faz uso de uma transformação ortogonal para converter um conjunto de observações (possivelmente correlacionadas) a um conjunto de valores linearmente descorrelacionados. Esses valores são definidos como com-

ponentes principais. O número de componentes principais é menor ou igual ao número de variáveis originais.

Para a ACP cada observação em análise gera uma componente principal e, em geral, o modelo matemático fundamenta-se na ideia de reduzir o número de variáveis e interpretação das componentes principais. Dessa maneira, é possível através do modelo identificar a relação entre as variáveis de um conjunto. A ACP é usada em diversas aplicações, desde a compressão de dados, até a remoção de ruídos, passando pela análise de grande quantidade de dados.

MEDIDAS PARA AVALIAR A QUALIDADE DE DETECÇÃO DA EPILEPSIA

Como existe diferença entre os intervalos epilépticos e não epilépticos, as pesquisas utilizam diferentes metodologias para distingui-los. Para isso, fazem uso das características extraídas dos sinais (decompostos) disponíveis. Em seguida, com o objetivo de avaliar a qualidade da identificação desses intervalos aplicam os índices de diagnósticos: sensitividade, especificidade e acurácia, definidos conforme:

$$sensitividade = \frac{VP}{VP + FN} \text{ x } 100 \qquad (01)$$

$$especificidade = \frac{VN}{VN + FP} \text{ x } 100 \qquad (02)$$

$$acurácia = \frac{VP + VN}{VN + FP + VP + FN} \text{ x } 100 \qquad (03)$$

com VP representando o número de intervalos epilépticos determinados tanto pelo modelo quanto pelo neurofisiologista experiente; FN sendo o número de intervalos epilépticos que são perdidos pelo

modelo, mas identificados pelo neurofisiologista experiente; VN como o número de intervalos não epilépticos reconhecidos tanto pelo modelo quanto pelo neurofisiologista experiente e FP representado o número de intervalos não epilépticos reconhecidos como intervalos epilépticos pelo modelo.

Então, o índice de sensitividade indica a habilidade em detectar a doença, quando a mesma está presente. Caso o índice apresente um valor reduzido, o mesmo não é capaz de detectar a doença em alguns pacientes com a doença. A especificidade refere-se à habilidade de indicar os não doentes, quando a doença não está presente. Em outras palavras, não são alarmes falsos. Então, se o índice de especificidade apresenta valor reduzido ele indicará a presença da doença em sujeitos não doentes, sendo classificados como falsos positivos. Por fim a acurácia avalia a probabilidade de o índice estar correto, sendo a concordância global dos resultados verdadeiros positivos e negativos em pacientes com e sem a doença.

ARTEFATOS PRESENTES NO EEG E O USO DE FILTROS

O traçado do EEG identifica a amplitude das flutuações rítmicas do cérebro. No entanto, pode sofrer interferências de outras fontes que também são geradoras de atividade elétrica, a exemplo dos músculos, dos batimentos cardíacos além da rede elétrica. Assim, quando presentes no traçado do EEG podem dificultar a identificação do padrão epileptiforme.

Na literatura essas interferências são conhecidas como artefatos que são classificados como fisiológicos e não fisiológicos. Os artefatos fisiológicos são originados pelos movimentos do paciente durante a realização do EEG, a exemplo das contrações musculares, dos movimentos oculares, da pulsação arterial, da deglutição, da movimentação da língua, da resistência da pele por atividade vasomotora ou da sudorese.

Já os artefatos não fisiológicos são produzidos pelo meio externo, como: interferência elétrica, defeitos no equipamento de registro,

defeitos nos cabos utilizados, defeitos no amplificador e nos eletrodos dispostos no couro cabeludo.

Para eliminação ou redução dos efeitos dos artefatos não fisiológicos os filtros são utilizados. Na literatura os filtros são definidos como: passa-baixa, passa-alta, passa-faixa e rejeita-faixa. O primeiro filtro permite que o sinal com frequência abaixo de um valor determinado seja escolhido, eliminando todo com frequência superior. Já o filtro passa-alta escolhe o sinal com frequência superior a um valor determinado. O filtro passa-faixa permite a seleção apenas de uma faixa de frequências, enquanto que, o filtro rejeita-faixa não escolhe uma determinada faixa de frequência, permitindo as demais (baixas e altas) frequências.

MODELOS DE DECOMPOSIÇÃO PARA DETECÇÃO AUTOMÁTICA DA EPILEPSIA

Modelo *WAVELET*

A TDW pode ser considerada como uma espécie de sub-banda de decomposição. Ou seja, ela pode ser analisada como um par de filtros, sendo um filtro passa-baixa e o outro passa-alta. Após a aplicação desses filtros são gerados dois componentes: a componente de aproximações (A) e a componente de detalhes (D).

Esse procedimento pode ser repetido sempre sobre a componente (A), que irá gerar duas novas componentes. Assim, a cada processo de decomposição é definido um novo nível de decomposição para a TDW, cuja principal vantagem é descrever o sinal.

A decomposição dos sinais do EEG em sub-bandas, considerando essa vantagem proporcionada pelas *wavelets* é realizada pela metodologia apresentada por Zhou et al (2013), na extração das características dos registros de 21 pacientes com epilepsia. No estudo, os autores confirmaram uma sensitividade de 96,25%.

Outra metodologia desenvolvida por Liu et al (2012) também para multicanais é dada com base na TDW para aplicação intracraniana.

No experimento, três das cinco sub-bandas são selecionadas. As características utilizadas foram úteis para identificar os intervalos epilépticos nos registros de 509 horas de 21 pacientes com epilepsia. Os resultados obtidos indicaram sensitividade de 94,46% e especificidade de 95,26%.

Anteriormente, a decomposição em cinco níveis também foi adotada por Panda e colaboradores (2010), para a detecção de epilepsia através de registros do EEG. As características extraídas dos sinais de EEG de paciente saudável com olho aberto, com olho fechado e outro epiléptico indicaram acurácia de 91,2%.

Khan e colaboradores (2012) propuseram abordagem semelhante para detecção da epilepsia. A sensitividade de 83% e especificidade de 100% representaram os resultados obtidos. No mesmo ano, Wang e colaboradores (2012), com base na TDW, apresentaram acurácia de 98% em registros de EEG por aplicação intracraniana em 10 pacientes com ELT.

Modelo DME

Das pesquisas disponíveis na literatura Tafreshi e colaboradores (2008) utilizaram o modelo DME em sinais obtidos pela aplicação de eletrodos no couro cabeludo e por aplicação intracraniana em cinco pacientes. Os autores identificaram os intervalos de epilepsia através da característica média absoluta da IMF. Os resultados demonstraram que o modelo DME apresentou melhor desempenho quando comparado ao uso da *wavelet*, com acurácia de 95%. A pesquisa também revelou que ao decompor os sinais em IMFs as quatro primeiras funções foram suficientes para obter o melhor resultado.

Mais tarde, outra pesquisa realizada por Orosco e colaboradores (2009), com base em nove registros obtidos de pacientes epilépticos, por aplicação intracraniana, apresentou sensitividade e especificidade de 56,41% e 75,86%, respectivamente. Posteriormente, Guarnizo e Delgado (2010) tiveram resultados para acurácia de 98% em registros de cinco grupos de pacientes.

Se as pesquisas elaboradas por Tafreshi e colaboradores (2008), Orosco e colaboradores (2009) e Guarnizo e Delgado (2010) são para situações de canal único os trabalhos de Rehman e colaboradores (2010), Oweis e Abdulhay (2011) e Rutkowski e colaboradores (2013) ocorreram em multicanal. Na metodologia proposta por Oweis e Abdulhay (2011) os resultados para acurácia, especificidade e sensitividade corresponderam a 80%, 80% e 81%, respectivamente. Ao contrário disso, as pesquisas de Rehman e colaboradores (2010) e Rutkowski e colaboradores (2013) fizeram uso da inspeção visual dos resultados de decomposição.

Modelo DVS

Os estudos de Vanrumste e colaboradores (2002) e Shahid e colaboradores (2013) aplicaram o modelo DVS para registros obtidos de pacientes epilépticos (canal único) por aplicação no couro cabeludo. Para a primeira pesquisa as janelas de observação dos sinais são sobrepostas enquanto que na segunda pesquisa a mesma é sequencial. Nos dois estudos, os autores conseguiram verificar que as primeiras matrizes elementares são suficientes para identificação dos intervalos de epilepsia.

Em Vanrumste e colaboradores (2002), os dados foram simulados enquanto que em Shahid e colaboradores (2013) os sinais são de 4 pacientes pediátricos, com 20 convulsões. Para as duas metodologias, a inspeção visual dos resultados de decomposição foi aplicada, com resultados favoráveis.

Modelo ACP

O modelo ACP também é usado como algoritmos de separação de sinais para aumentar a detectabilidade das convulsões a partir de sinais de EEG separando os artefatos destes sinais. Xie e Krishnan (2011) usam o modelo ACP combinando o mesmo com TDW para a eliminação de trechos ruidosos e decomposição de sinais de EEG. Assim, os autores desenvolveram um método de classificação empí-

rica usando características espaciais e temporais. A metodologia fez uso da inspeção visual dos resultados de decomposição. Em outro estudo, Williamson e colaboradores (2012) ao aplicarem ACP obtiveram sensitividade de 85%.

QUADRO COMPARATIVO DAS PESQUISAS

Com base na Tabela 1, quer através do uso de *wavelet*, DME, DVS ou ACP percebe-se que as características dos sinais escolhidas não são uniformes nas pesquisas. Das características utilizadas, a energia do sinal é a mais presente nas investigações.

Apesar da utilização frequente dos índices de diagnósticos para avaliação de desempenho deve-se observar que as pesquisas citadas não foram realizadas na mesma base de dados. Além disso, o número de investigações que consideram o processamento multicanal é menor quando comparado com o processamento de canal único.

Tabela 1 — Resumo sobre metodologias aplicadas para detecção da epilepsia

Autores	Modelo	Número de eletrodos	Quantidade / tipo / base de dados	Característica(s)	Aplicação do eletrodo	Desempenho
Zhou et al (2013)	wavelet	multi canal	21 pacientes / 9 adultos com ELT / Banco de dados do Centro Freiburg	índice de lacunaridade e flutuação	couro cabeludo	sensitividade de 96,25%.
Liu et al (2012)	wavelet	multi canal	21 pacientes / 9 adultos com ELT / Banco de dados do Centro Freiburg	amplitude relativa, energia relativa, coeficiente de variação e índice de flutuação	intracraniana	sensitividade de 94,46% e especificidade de 95,26%
Panda et al. (2010)	wavelet	canal único	21 pacientes / 9 adultos com ELT / Banco de dados do Centro Freiburg	energia, desvio padrão e entropia	couro cabeludo	acurácia de 91,2%.
Khan et al. (2012)	wavelet	canal único	5 pacientes / Banco de dados do Hospital Infantil de Boston	energia relativa e coeficiente de variação normalizado	couro cabeludo	sensitividade de 83% e especificidade de 100%
Wang et al. (2012)	wavelet	canal único	10 pacientes / adultos com ELT	entropia	intracraniana	acurácia de 98%

Autores	Modelo	Número de eletrodos	Quantidade / tipo / base de dados	Característica(s)	Aplicação do eletrodo	Desempenho
Tafreshi et al. (2008)	DME	canal único	5 pacientes / adultos / Banco de dados do Centro Freiburg	média absoluta da IMF	couro cabeludo	acurácia de 95%.
Orosco et al. (2009)	DME	canal único	21 pacientes / 9 adultos com ELT / Banco de dados do Centro Freiburg	energia	couro cabeludo	sensitividade de 56,41% e especificidade de 75,86%,
Guarnizo e Delgado (2010)	DME	canal único	21 pacientes / 9 adultos com ELT / Banco de dados do Centro Freiburg	frequência, amplitude média, assimetria, curtose e entropia	couro cabeludo	acurácia de 98%
Bajaj e Pachori (2013)	DME	canal único	21 pacientes / 9 adultos com ELT / Banco de dados do Centro Freiburg	energia	intracraniana	Especificidade de 90% e sensitividade de 90%
Rehman et al. (2010)	DMEM	multi canal	21 pacientes / 9 adultos com ELT / Banco de dados do Centro Freiburg	frequência	couro cabeludo	inspeção visual dos resultados de decomposição
Oweis e Abdulhay (2011)	DMEM	multi canal	21 pacientes / 9 adultos com ELT / Banco de dados do Centro Freiburg	média absoluta da IMF	couro cabeludo	Acurácia de 94%, especificidade de 96% e sensitividade de 92%
Rutkowski et al. (2013)	DMEM	multi canal	01 paciente / adulto com ELT/ Banco de dados da Universidade de Varsóvia	IMF	couro cabeludo	inspeção visual dos resultados de decomposição
Vanrumste et al. (2002)	DVS	canal único	Sinais simulados de EEG com artefato	energia	couro cabeludo	inspeção visual dos resultados de decomposição
Shahid et al. (2013)	DVS	canal único	4 pacientes / Banco de dados do Hospital Pediátrico de Boston	valores singulares	couro cabeludo	inspeção visual dos resultados de decomposição
Xie e Krishnan (2011)	ACP	canal único	Sinais simulados de EEG com artefato	índice de ajuste	couro cabeludo	inspeção visual dos resultados de decomposição
Williamson et al. (2012)	ACP	canal único	21 pacientes / Banco de dados do Centro Freiburg	componentes principais	couro cabeludo	sensitividade de 85%

Fonte: Elaborado pelos autores.

DESAFIOS PARA PESQUISAS EM DETECÇÃO AUTOMÁTICA DE EPILEPSIA

Na literatura temos algumas críticas sobre a aplicação de modelos de transformação discreta. Assim, para Orosco e colaboradores (2009), o modelo TDW decompõe o sinal em uma combinação linear de funções de base predefinidas caracterizando uma desvantagem por serem os sinais obtidos no EEG gerados por sistemas não lineares.

Além dessa limitação ao lidar com sinais cujas características são de não linearidade, o tratamento adequado para detecção da epilepsia ao requerer que a incorporação das características dos sinais tenha base num processamento multicanal (HUNYADI et al, 2012; ALOTAIBY et al., 2014) acaba impondo outra limitação para os modelos DVS e DME, cuja abordagem é de canal único.

Visando solucionar essas limitações, a literatura com foco na detecção da epilepsia, apresentou pesquisas com base no modelo Decomposição em Modo Empírico Multivariada (DMEM) conforme os trabalhos realizados por Rehman *et al*. (2010), Oweis e Abdulhay (2011) e Rutkowski *et al*. (2013).

Embora o modelo DMEM seja uma tendência promissora na detecção da epilepsia o mesmo precisa de mais investigação (ALOTAIBY et al., 2014). Além disto, Oweis e Abdulhay (2011) argumentam que o modelo DMEM apresenta um padrão específico que leva a um processo de mistura das frequências do sinal e isso pode não ser uma escolha adequada para decompor os sinais. Desta maneira, embora não se refute os avanços na detecção automática da epilepsia ainda existem muitos desafios.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de algoritmos na detecção automática da epilepsia se constitui numa área de pesquisa que apresenta grandes desafios por conta da presença de distúrbios (artefatos) que podem dificultar a análise dos registros. Não esquecendo que sua análise visual é um processo

trabalhoso, demorado e impreciso. Portanto, ao eliminar tais inconvenientes a tarefa dada a esses algoritmos de detecção automática é importante uma vez que o diagnóstico e o tratamento da epilepsia requer uma avaliação clínica baseada no EEG do paciente. Embora os modelos de decomposição sejam aplicados nas mais distintas áreas do conhecimento, na área da saúde, e em especial, para os sinais biomédicos, podemos perceber, pelo relato dessas pesquisas, serem ainda necessários avanços na detecção automática da epilepsia.

REFERÊNCIAS

ALOTAIBY, T. N. et al. EEG seizure detection and prediction algorithms: a survey. **Journal on Advances in Signal Processing**, v., n. 1, p. 1-21, dez. 2014.

BAJAJ, V.; PACHORI, R. B. Epileptic seizure detection based on the instantaneous area of analytic intrinsic mode functions of EEG signals. **Biomedical Engineering Letters**, v. 3, n. 1, p. 17–21, 2013.

GUARNIZO, C.; DELGADO, E. EEG single-channel seizure recognition using empirical mode decomposition and normalized mutual information. In: IEEE International Conference on Signal Processing, 2010, Beijing. **Proceedings…** Beijing: IEEE, 2010. p. 1749-1752. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/251973044_EEG_single-channel_Seizure_recognition_using_Empirical_Mode_Decomposition_and_normalized_mutual_information>. Acesso em: 10 mar. 2016.

KHAN, Y. U.; RAFIUDDIN, N.; FAROOQ, O. Automated seizure detection in scalp EEG using multiple wavelet scales. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SIGNAL PROCESSING, COMPUTING AND CONTROL, 2012, Waknaghat Solan. **Proceedings…** Waknaghat Solan: IEEE, 2012. p. 1-5. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/238042596_Automated_seizure_detection_in_scalp_EEG_using_multiple_wavelet_scales>. Acesso em: 10 mar. 2016.

LIU, Y. et al. Automatic seizure detection using wavelet transform and SVM in long-term intracranial EEG. **IEEE Transaction Neural Systems Rehabilitation Engineering**, v. 20, n. 6, p. 749-755, 2012.

OROSCO, L. et al. An epileptic seizures detection algorithm based on the empirical mode decomposition of EEG. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IEEE EMBS, 2009, Minneapolis. **Proceedings…** Minneapolis: IEEE, 2009. p. 2651-2654. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=5332861>. Acesso em: 10 mar. 2016.

OWEIS, R. J.; ABDULHAY, E. W. Seizure classification in EEG signals utilizing Hilbert-Huang transform. **BioMedical Engineering OnLine**, v. 10, n. 38, p. 1-15, 2011.

PANDA, R. et al. Classification of EEG signal using wavelet transform and support vector machine for epileptic seizure diction. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEMS IN MEDICINE AND BIOLOGY, 2010, Kharagpur. **Proceedings…** Kharagpur, 2010. p. 405-408. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/224225512_Classification_of_EEG_signal_using_wavelet_transform_and_support_vector_machine_for_epileptic_seizure_diction>. Acesso em: 10 mar. 2016.

REHMAN, N.; XIA, Y.; MANDIC, D. Application of multivariate empirical mode decomposition for seizure detection in EEG signals. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IEEE EMBS, 2010, Buenos Aires. **Proceedings…** Buenos Aires: IEEE, 2010. p. 1650-1653. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21096140>. Acesso em: 10 mar. 2016.

RUTKOWSKI, T. M.; STRUZIK, Z. R; MANDIC, D. P. EEG epileptic seizures separation with multivariate empirical mode decomposition for diagnostic purposes. In: ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IEEE EMBS, 35., 2013, Osaka. **Proceedings…** Osaka: IEEE, 2013. p. 7128-7131. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/257602570_EEG_epileptic_seizures_separation_with_multivariate_empirical_mode_decomposition_for_diagnostic_purposes>. Acesso em: 10 mar. 2016.

SHAHID, A. et al. Epileptic seizure detection using the singular values of EEG signals. In: IEEE CONFERENCE ON COMPLEX MEDICAL ENGINEERING, 2013, Beijing. **Proceedings…** Beijing: IEEE, 2013. p. 652-655. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=6548330&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxpls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D6548330>. Acesso em: 10 mar. 2016.

TAFRESHI, A. K.; NASRABADI, A. M.; OMIDVARNIA, A. H. Epileptic seizure detection using empirical mode decomposition. In: IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SIGNAL PROCESSING AND INFORMATION TECHNOLOGY, 2008, Sarajevo. **Proceedings…** Saravejo: IEEE, 2008. p. 238-242. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/224381190_Epileptic_Seizure_Detection_Using_Empirical_Mode_Decomposition>. Acesso em: 10 mar. 2016.

VANRUMSTE, B.; JONES, R. D.; BONES. P. J. Detection of focal epileptiform activity in the EEG: an SVD and dipole model approach. In: IEEE JOINT EMBS/BMES, 2., 2002, Houston. **Proceedings…** Houston: IEEE, 2002. p. 2031-2032. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=1053152&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxpls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D1053152>. Acesso em: 10 mar. 2016.

WILLIAMSON, J. R. et al. Seizure prediction using EEG spatiotemporal correlation structure. **Epilepsy & Behavior**, v.25, n. 2, p. 230-238, 2012.

XIE, S.; KRISHNAN, S. Signal decomposition by multi-scale PCA and its applications to long-term EEG signal classification. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPLEX MEDICAL ENGINEERING, 2011, Harbin Heilongjiang. **Proceed-**

ings… Harbin Heilongjiang: IEEE, 2011. p. 532-537. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=5876798&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxpls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D5876798>. Acesso em: 10 mar. 2016.

ZHOU, W. et al. Epileptic seizure detection using lacunarity and Bayesian linear discriminant analysis in intracranial EEG. **IEEE Transaction Biomedical Engineering**, v. 60, n. 12, p. 3375-3381, 2013.

Capítulo VIII

ESTUDO COMPARATIVO DE MÉTODOS DE SEGMENTAÇÃO EM IMAGENS DE RAIO-X PARANORÂMICO DOS DENTES

Gil Jader Oliveira da Silva
Valter de Senna
Luciano Rebouças de Oliveira

ESTUDO COMPARATIVO DE MÉTODOS DE SEGMENTAÇÃO EM IMAGENS DE RAIO-X PARANORÂMICO DOS DENTES

Em Medicina Dentária, o raio-X panorâmico é um exame complementar de diagnóstico que possibilita a visualização de todos os dentes em uma única imagem, porém, além dos dentes, apresentam as articulações entre os maxilares e o crânio e detalhes originados pelos ossos das áreas nasais e da face. Apresenta excesso de informação que dificulta a avaliação individual dos dentes. Neste sentido, uma opção para tratar este tipo de questão é a utilização de métodos automáticos de segmentação para extração de características das imagens de raio-X, isolando os dentes para facilitar sua análise. O objetivo do presente trabalho é, portanto, realizar um estudo comparativo de métodos de segmentação de imagens, utilizando as métricas: Accuracy, Specificity, Precision, Recall e F-score, para verificar qual dos métodos consegue melhor dividir as imagens de raio-X panorâmico em suas unidades significativas (dentes). Os dados obtidos a partir deste estudo mostraram que o processo de segmentação que utiliza um limiar local, variando em diferentes regiões da imagem alcançou os melhores resultados.

INTRODUÇÃO

Em Medicina Dentária, as imagens de radiografia são fontes de dados fundamentais, e a área de Visão Computacional tem auxiliado em pesquisas que envolvem a extração de informação dessas imagens para realizar diagnósticos sobre os pacientes. Nesse contexto, destacam-se os métodos de segmentação que podem contribuir para a análise das imagens digitais, especialmente no que se refere ao reconhecimento de padrões.

Segmentação de imagens significa decompor uma imagem em suas unidades ou objetos que a compõem, de modo que, ocorra a separação destes objetos em relação às outras partes da imagem. O nível a que a subdivisão é realizada depende do problema a ser resolvido, ou seja, a segmentação deve parar quando os objetos de interesse forem isolados.

De acordo com Kreich e colaboradores (2005), a radiografia é o registro fotográfico de uma imagem produzida pela passagem de uma fonte de raios-X através de um objeto. O raio-X é utilizado em Medicina Dentária para verificar o estado dos dentes, das gengivas, dos maxilares e da estrutura óssea de uma boca, permitindo diagnosticar quais os seus problemas principais. Na odontologia os raios-X estão divididos em duas categorias: **Exames radiográficos intraorais**, são técnicas efetuadas com o filme radiográfico posicionado na cavidade bucal (a imagem de raio-X é obtida no interior da boca do paciente) e os **Exames radiográficos extraorais**, são as técnicas nas quais o paciente fica posicionado entre o filme radiográfico e a fonte de raios-X (a imagem de raio-X é obtida no exterior da boca do paciente).

A análise de raios-X dentais é uma tarefa complexa, o que torna o processo de segmentação desafiador. Se tratando das radiografias panorâmicas, a dificuldade é ainda maior, pelo fato dessas imagens não serem restritas apenas a uma parte isolada dos dentes como ocorre nas imagens radiográficas intraorais, pois além dos dentes, elas mostram regiões temporomandibulares (articulações entre os maxilares e o crânio) e outros detalhes originados pelos ossos das áreas nasais e da face. Essas informações dificultam o processo de segmentação por possuírem características dos pixels (intensidade, contraste, iluminação, textura, dentre outras) semelhantes às regiões correspondentes aos objetos de interesse (dentes) nas imagens de ortopantomografia.

Devido aos problemas apresentados, ainda existem pesquisas para encontrar um método adequado de segmentação de imagens de raios-X dentais que consiga isolar os dentes das outras partes da imagem (maxilares, regiões temporomandibulares, detalhes das áreas nasais, face e gengivas) para facilitar sua análise. No entanto, poucas

pesquisas focam em imagens de raios-X dentais panorâmicas, e as existentes não realizam uma análise aprofundada dos resultados para avaliar de forma sistematizada o desempenho dos métodos de segmentação utilizados. Para superar essa falta, o trabalho aqui proposto tem o objetivo de realizar uma avaliação comparativa entre métodos de segmentação para identificar corretamente, em imagens de raio-X panorâmico, cada dente individualmente, ou ainda, próteses, implantes, dentes quebrados ou restaurados, separando os dentes dos não-dentes nas imagens de raio-X para facilitar a análise individual de cada dente. Os resultados são analisados a partir de medidas estatísticas convencionais (Maior Valor, Menor Valor, Média, Entropia e Desvio Padrão) e a por meio das métricas: *Accuracy*, *Specificity*, *Precision*, *Recall* (*Sensitivity*) e *F-score*, que são medidas existentes na área de Visão Computacional para medição de desempenho de algoritmos de segmentação.

MÉTODOS DE SEGMENTAÇÃO DE IMAGENS

Em geral, segmentação completamente autônoma é uma das tarefas mais difíceis de serem realizadas na área de Visão Computacional, permanecendo como um ativo campo de pesquisa. A segmentação de imagens é aplicada para separação de uma imagem em regiões distintas de interesse, levando em consideração os aspectos de descontinuidade ou homogeneidade da imagem. Conforme descrito no início do presente texto, a análise de imagens de raios-X dentais é uma tarefa complexa. As dificuldades são: variações dos dentes de paciente para paciente; artefatos usados para restaurações e próteses; as baixas qualidades das imagens causadas por algumas condições, tais como o ruído, baixo contraste; homogeneidade nas regiões próximas aos objetos de interesse; e limitação dos métodos de aquisição, o que resulta, algumas vezes, em segmentação mal sucedida. O presente estudo avaliou sete métodos de segmentação e que são apresentados nas próximas seções.

LIMIARIZAÇÃO BÁSICA GLOBAL

A Limiarização Básica Global (do inglês, *Basic Global Thresholding*), consiste no estabelecimento de um valor de intensidade (limiar) de tal modo que todos os *pixels* com valor de intensidade inferior ao (limiar) pertençam a uma região e o restante pertença à outra. Supondo que o histograma de intensidade corresponde a uma imagem, f(x, y), composta por objetos claros sobre um fundo escuro e de tal forma que objetos e fundo têm níveis de intensidade agrupados em dois modos dominantes, para extrair os objetos do fundo, o método de limiarização global seleciona um limiar T que separa estes modos. Então, qualquer ponto da imagem (x, y) em que f (x, y) > T é chamado de objeto (ou plano), caso contrário, o ponto é chamado de fundo (o inverso vale para objetos escuros sobre um fundo claro) (GONZALES; WOODS, 2008).

METHOD NIBLACK

Nesta abordagem, um limiar T(x, y) é calculado para cada ponto (x, y) na imagem, baseado em medidas estatísticas dentro de um bloco de vizinhança local de tamanho *n x n* para cada ponto (x, y), utilizando a equação:

$$T(x, y) = m(x, y) + k * \sigma(x, y) \qquad \text{equação (1)}$$

onde *m(x, y)* e $\sigma(x, y)$ representam a média e o desvio padrão do bloco local de tamanho *n x n*, e **k** é uma constante (também chamada de bias) que modifica o contraste local obtido pelo desvio padrão local. O padrão estabelecido pelo Método Niblack é utilizar k igual a 1 (NIBLACK, 1985).

CRESCIMENTO DE REGIÃO

A segmentação baseada no crescimento de regiões (do inglês, *Region Growing*), é um procedimento que agrupa *pixels* ou sub-regiões em regiões maiores com base em critérios pré-definidos para o crescimento.

A abordagem básica é começar com um conjunto de pontos "sementes" e destes crescer regiões anexando a cada semente aqueles *pixels* vizinhos que têm propriedades pré-definidas, semelhantes à semente (intervalos específicos de nível de cinza ou cor). A diferença entre o valor da intensidade de um pixel candidato e o valor médio de intensidade da região em crescimento é usada como medida da semelhança. O *pixel* com a menor diferença medida desta maneira é atribuído à respectiva região. O processo termina quando a diferença de intensidade entre a média da região e o *pixel* novo tornar-se maior do que um limiar especificado, não existindo, portanto, mais *pixels* que satisfaçam os critérios para inclusão nas regiões (GONZALES; WOODS, 2008).

DIVISÃO E UNIÃO DE REGIÕES

A segmentação baseada em divisão e união de regiões é realizada, de modo geral, em quatro passos básicos: 1) A imagem como um todo é considerada como área de interesse inicial; 2) A área de interesse é examinada para decidir se todos os *pixels* contidos na região satisfazem algum critério de similaridade; 3) Se verdadeiro, a área de interesse corresponde a uma região na imagem e recebe um rótulo; 4). Se falso, a área de interesse é dividida e cada uma é sucessivamente considerada como área de interesse. Após cada divisão, é usado um processo de união que compara regiões adjacentes e as une se necessário. Esse processo continua até que nenhuma outra divisão ocorra e quando não seja possível mais nenhuma união de regiões (GONZALES; WOODS, 2008).

DIVISOR DE ÁGUAS

O método de Segmentação por Divisores de Água (do inglês, *Watershed Segmentation*) calcula a gradiente (vetor que aponta na direção da maior mudança de intensidade dos *pixels*) para todos os *pixels* da imagem. Imagine que os valores de gradiente formem uma superfície topográfica com vales e montanhas. As regiões mais baixas seriam correspondentes as de menor gradiente e as mais altas às de maior gradiente. Os segmentos são formados preenchendo as regiões mais

baixas partindo de um mínimo local (*pixels* com valores mais baixos), desse modo, a partir dos níveis de cinza da imagem forma-se superfícies conhecidas como bacias de captação, e, no encontro destas bacias, são criadas as linhas de divisão de águas. Daí o nome divisor de águas. Uma variação do método Watershed é utilizar a segmentação controlada por marcadores (*Marker-Controlled Watershed*) que evita a ocorrência do fenômeno conhecido como super-segmentação (excesso de *pixels* que não podem ser unidos a nenhuma outra parte da imagem), utilizando operações morfológicas de abertura e fechamento para realizar ajustes nos níveis de cinza da imagem e evitar a super-segmentação (AUDIGIER; LOTUFO, 2005).

MÉTODO *PUN*

O Método *Pun* utiliza a abordagem da entropia da informação que foi proposta originalmente por Shannon (1948). Para realizar a segmentação, o Método *Pun* explora a entropia da distribuição dos níveis de cinza numa imagem. Dado um ponto de corte **t**, calcula-se a entropia dos tons abaixo (Hb) e acima (Hw) de **t** por meio das equações:

$$Hb = -\sum_{0}^{t} p[i]log(p[i]) \quad \text{equação (2)}$$

$$Hw = -\sum_{t+1}^{255} p[i]log(p[i]) \quad \text{equação (3)}$$

onde ***p[i]*** é a probabilidade do *pixel* possuir o nível de cinza ***i***. O algoritmo deve procurar **t** que maximize **H**, através da operação ***H*** = *Hw* + *Hb*. Assim, obtendo a imagem segmentada. (PUN, 1981).

MÉTODO RENYI

Segundo Sezgin e Sankur (2004), o Método Renyi inicia a segmentação da imagem, separando a entropia da distribuição dos níveis

de cinza em duas classes: A1 e A2, correspondentes aos objetos e ao fundo dos objetos respectivamente. A segmentação pelo Método Renyi se baseia em um limiar inicial, que é utilizado como ponto de corte para realizar a segmentação, separando os níveis de cinza da imagem nas classes A1 e A2 que são calculadas, como apresentado nas equações:

$$H_{A_1}^{\alpha} = \frac{1}{1-\alpha} ln \sum_{k=0}^{t} \left(\frac{p_i}{p(A_1)}\right)^{\alpha} \qquad \text{equação (4)}$$

$$H_{A_2}^{\alpha} = \frac{1}{1-\alpha} ln \sum_{k=t+1}^{255} \left(\frac{p_i}{p(A_2)}\right)^{\alpha} \qquad \text{equação (5)}$$

onde:

- H_t — Corresponde a distribuição de probabilidade (objeto ou fundo do objeto), derivadas das distribuições de cinza originais da imagem;
- K — Corresponde ao valor da variação dos níveis de cinza na imagem;
- α — Corresponde a um valor positivo real menor do que 1.

ESTUDO COMPARATIVO DOS MÉTODOS DE SEGMENTAÇÃO DE IMAGENS

Nesta seção, são apresentadas as etapas da metodologia desenvolvida para realização do presente estudo, iniciando com a aquisição das imagens a partir do ortopantomógrafo (aparelho usado para geração das imagens de ortopantomografia), até a avaliação dos resultados obtidos por meio dos algoritmos de segmentação estudados.

AQUISIÇÃO DAS IMAGENS DO *DATASET*

As imagens do *dataset* do presente trabalho foram obtidas pela Câmera de raio-X de modelo: ***ORTHOPHOS XG 5 / XG 5 DS / Ceph***, fabricado pela empresa Sirona Dental Systems GmbH. As radio-

grafias foram adquiridas no Centro de Diagnóstico por Imagem da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia — UESB. As imagens radiográficas utilizadas para esta pesquisa foram codificadas visando a não identificação do paciente no referido estudo. O uso das radiografias na pesquisa foi autorizada pela Comissão Nacional de Ética em Pesquisa (CONEP) e pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP), através do parecer de número 646.050 aprovado em 13/05/2014.

O *dataset* do presente estudo é composto por 1500 imagens de raio-X panorâmico. As imagens possuem significativas variações estruturais em relação aos dentes, no que se refere ao número de dentes, existência de restaurações, existência de implantes, existência de aparelhos, ou a existência de dentes supranumerários (referente à pacientes com mais de 32 dentes). Além de variarem em relação ao tamanho da boca e das maxilas e mandíbulas. Todas as imagens originalmente obtidas pelo ortopantomógrafo ORTHOPHOS XG 5 / XG 5 DS / Ceph possuem dimensões 2440 X 1292 *pixels*. As imagens foram capturadas em níveis de cinza e estão no espaço de cor RGB (*Red, Green, Blue*). Sendo assim, são imagens monocromáticas de 24 *bits*, 8 *bits* para cada componente RGB, onde cada canal de cor contém valores variando de 0 à 255, o que implica que seus componentes R, G e B são sempre iguais para representar um tom de cinza em uma determinada região da imagem.

CATEGORIZAÇÃO DAS IMAGENS DO *DATASET*

Para realização do presente estudo, formou-se um *dataset* com 1500 imagens, que foram distribuídas entre 10 categorias, conforme é apresentado na Tabela 1. As imagens foram nomeadas, utilizando números inteiros, em ordem sequencial por categoria visando a não identificação dos pacientes no referido estudo. O processo de categorização das imagens do *dataset* foi realizado de forma manual, selecionando imagem a imagem individualmente, contando dente a dente, além de verificar também as suas características estruturais.

Tabela 1 — Classificação das imagens do *dataset* e média de dentes por categoria.

Nº	Nome da Categoria	Imagens	Média de dentes
1	Imagens com todos os dentes, contendo dentes com restauração e com aparelho	73	32
2	Imagens com todos os dentes, contendo dentes com restauração e sem aparelho	220	32
3	Imagens com todos os dentes, contendo dentes sem restauração e com aparelho	45	32
4	Imagens com todos os dentes contendo dentes sem restauração e sem aparelho	140	32
5	Imagens contendo IMPLANTE	120	18
6	Imagens contendo mais de 32 dentes	170	37
7	Imagens faltando dentes, contendo dentes com restauração e com aparelho	115	27
8	Imagens faltando dentes, contendo dentes com restauração e sem aparelho	457	29
9	Imagens faltando dentes, contendo dentes sem restauração e com aparelho	45	28
10	Imagens faltando dentes, contendo dentes sem restauração e sem aparelho	115	28
Total Geral		1500	

Fonte: Elaborado pelos autores.

ANOTAÇÃO DAS IMAGENS DO *DATASET*

As imagens utilizadas no presente estudo foram anotadas (obtendo as imagens binárias), que correspondem a demarcações dos objetos de interesse na imagem, obtidas de forma manual, onde o objetivo foi viabilizar uma posterior comparação entre os resultados dos algoritmos de segmentação estudados e a segmentação feita manualmente por meio da anotação. As anotações foram realizadas imagem a imagem e em cada imagem, dente a dente individualmente. As imagens binárias obtidas pelo processo de anotação foram armazenadas no *dataset* do presente trabalho e nomeadas, utilizando numeração

sequencial equivalente a cada imagem original correspondente. A Figura 1 ilustra o processo de anotação realizado no presente trabalho.

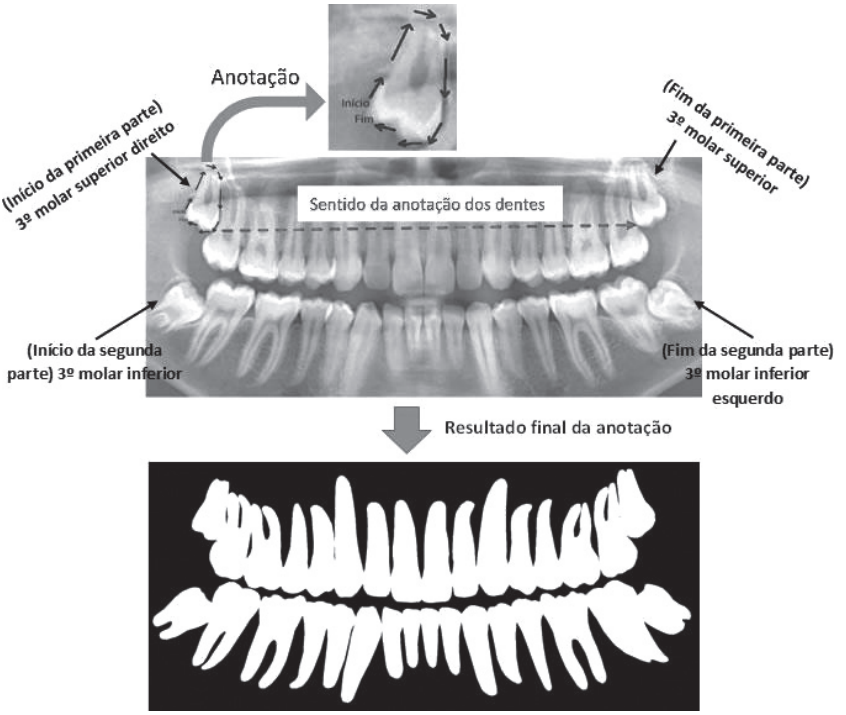


Figura 1 — Processo de anotação dos dentes.

Fonte: Elaborado pelos autores.

DETERMINAÇÃO DO ROI

Para cada imagem utilizada no presente estudo, após a finalização do processo de anotação dos dentes, realizou-se também a anotação da região bucal, contemplando toda a região delineada pelo contorno dos maxilares, desse modo preservando a área que contém todos os dentes (objetos de interesse). As imagens binárias obtidas pelo processo de anotação da região bucal foram armazenadas no *dataset* do presente trabalho e nomeadas utilizando numeração sequencial equivalente a cada imagem original correspondente. Por fim, a Região dos Objetos

de Interesse (ROI) foi determinada por meio da realização da multiplicação, entre os valores dos elementos da matriz de *pixels* que representa a imagem de raio-X panorâmico original e a sua matriz binária correspondente, resultante do processo de anotação bucal. As imagens contendo apenas a região dos objetos de interesse foram utilizadas nas etapas de análise das estatísticas do *dataset* e na avaliação dos métodos de segmentação estudados. A Figura 2 ilustra o processo realizado para determinação do ROI nas imagens do dataset do presente trabalho.

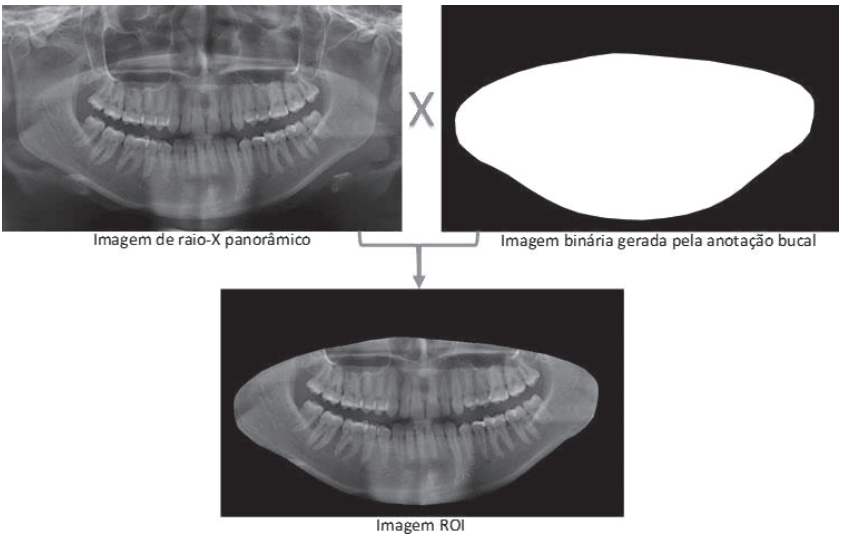


Figura 2 — Processo de determinação do ROI das imagens.

Fonte: Elaborado pelos autores.

ANÁLISE DAS ESTATÍSTICAS DO *DATASET* CONSTRUÍDO

A análise das estatísticas do *dataset* construído foi iniciada com a classificação das imagens, onde foram obtidos o total geral de imagens utilizadas, o total por categoria e a média de dentes das imagens por categoria, conforme foi apresentado na Tabela 2. Em seguida, foram realizadas operações estatísticas para obter o maior valor, menor valor, média, entropia e desvio padrão, considerando apenas os *pixels*

do **ROI de cada imagem individualmente do *dataset* do presente trabalho**. Os valores obtidos das operações estatísticas serviram de base para execução dos algoritmos de segmentação estudados.

ANÁLISE DE DESEMPENHO DOS ALGORITMOS DE SEGMENTAÇÃO

As métricas utilizadas para medição de desempenho dos algoritmos de segmentação estudados foram: *Accuracy*, *Specificity*, *Precision*, *Recall or Sensitivity* e *F-score*, que são medidas existentes na área de Visão Computacional para medição de desempenho de algoritmos de segmentação e que consistem na comparação dos resultados entre a imagem (ou conjunto de imagens) segmentada automaticamente a partir do algoritmo de segmentação e a sua segmentação manual (obtida por meio do processo de anotação). A Tabela 2 apresenta um resumo das métricas utilizadas no presente estudo.

Tabela 2 — Métricas utilizadas para avaliação dos métodos de segmentação.

Medidas da Detecção de Sinais	
Verdadeiros Positivos (VP)	O elemento de entrada é positivo e o algoritmo classifica como positivo.
Verdadeiros Negativos (VN)	O elemento de entrada é negativo e o algoritmo classifica como negativo.
Falsos Positivos (FP)	O elemento de entrada é negativo e o algoritmo classifica como positivo.
Falsos Negativos (FN)	O elemento de entrada é positivo e o algoritmo classifica como negativo.
Métricas Usadas para Avaliação de Desempenho dos Algoritmos	
Taxa de Acerto (*Accuracy*)	Relação entre o total de acertos sobre o conjunto total de erros e acertos. Esse valor e calculado por: (VP + VN)/(VP + FN + FP + VN).
Especificidade (*Specificity*)	Porcentagem de amostras negativas identificadas corretamente sobre o total de amostras negativas. Esse valor e calculado por: VN/(FP + VN).

Métricas Usadas para Avaliação de Desempenho dos Algoritmos	
Precisão (*Precision*)	Porcentagem de amostras positivas classificadas corretamente sobre o total de amostras classificadas como positivas. Esse valor é calculado por: VP/(VP + FP).
Sensibilidade (Sensitivity/ Recall)	Porcentagem de amostras positivas classificadas corretamente sobre o total de amostras positivas. Esse valor e calculado por: VP/(VP + FN)
Medida F-score	Representa a média harmônica entre a precisão e a sensibilidade.

Fonte: Elaborado pelos autores.

A Figura 3 ilustra um exemplo do processo realizado no presente trabalho para o cálculo das métricas apresentadas na Figura 3.

Imagem segmentada

Imagem anotada

Imagem	Accuracy	Specificity	Precision	Recall	Fscore
1	0,70	0,64	0,39	0,94	0,55
2	0,75	0,75	0,44	0,77	0,56
3	0,66	0,60	0,43	0,85	0,57
	.....				
71	0,78	0,77	0,48	0,83	0,61
72	0,81	0,84	0,52	0,67	0,58
	.....				
Média	0,74	0,72	0,45	0,81	0,58
Desvio Padrão	0,05	0,09	0,04	0,09	0,02

Figura 3 — Exemplo do processo de cálculo das métricas por imagem.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Conforme é apresentado na Figura 3, efetuou-se os cálculos das métricas, por imagem, com base na imagem segmentada pelo algoritmo

de segmentação e a sua imagem correspondente segmentada manualmente por meio do processo de anotação manual dos dentes. Em seguida, foram calculados a média e o desvio padrão dos valores obtidos das métricas, referente a todas as imagens por categoria do *dataset* utilizado no presente estudo. Por fim, organizou-se as médias e os desvios padrões das métricas em uma única tabela para melhor analisar os resultados encontrados entre as categorias e calcular a média geral, que corresponde a média das médias obtidas de todas as categorias.

A Tabela 3 apresenta as médias gerais obtidas com o cálculo das métricas: *Accuracy*, *Specificity*, *Precision*, *Recall* (*Sensitivity*) e *F-score,* que foram aplicadas para avaliar o desempenho de cada método de segmentação estudado. Para cada uma das métricas calculou-se a média dos seus resultados por categoria do *dataset* utilizado na presente pesquisa. O número de imagens classificadas é diferente em cada categoria, desse modo, a média geral dos resultados de cada métrica apresentada na Tabela 4 é uma média ponderada dos valores calculados das categorias, obtida a partir do cálculo da média da métrica e multiplicando-se pelo número de imagens da sua respectiva categoria. Em seguida, soma-se os valores encontrados de todas as categorias e o resultado do somatório é dividido por 1500, que representa o total de imagens do *dataset* do presente trabalho que foram utilizadas para avaliar os métodos de segmentação estudados.

Tabela 3 — Média geral dos resultados dos Métodos de Segmentação.

Método	Accuracy	Specificity	Precision	Recall	Fscore
Limiarização Básica Global	0,79	0,82	0,52	0,69	0,56
Método Niblack	0,82	0,82	0,51	0,83	0,61
Crescimento de Região	0,68	0,69	0,36	0,63	0,44
Divisão/União de Regiões	0,81	1,00	0,82	0,08	0,14
Método Pun	0,82	0,83	0,52	0,81	0,61
Método Renyi	0,85	0,93	0,69	0,41	0,43
Divisor de Águas	0,78	0,76	0,48	0,86	0,59

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os resultados apresentados na Tabela 3 mostraram que os Métodos de segmentação Niblack, Pun e Divisor de Águas alcançaram o maior valor de sensibilidade (*Recall*), indicando que as imagens segmentadas por estes métodos, apresentaram maior número de verdadeiros positivos (*pixels* que correspondem aos objetos de interesse nas imagens analisadas) e, portanto, pouca quantidade de falsos negativos em relação aos demais métodos de segmentação avaliados. Além de também obterem aproximadamente 80% de acerto em relação à métrica especificidade (*Specificity*), que corresponde aos verdadeiros negativos que foram corretamente identificados. O Método Niblack alcançou 83% de acerto da métrica sensibilidade (*Recall*), desse modo obteve o melhor resultado desta métrica em relação aos demais métodos analisados.

CONCLUSÃO

O objetivo do presente trabalho foi realizar uma avaliação de métodos de segmentação de imagens, por meio da aplicação em imagens de ortopantomografia, onde o interesse consistiu em verificar se cada algoritmo de segmentação estudado conseguiria dividir as imagens de raio-X panorâmico em suas unidades significativas (dentes). Para alcançar o objetivo proposto, foram estudadas e aplicadas as métricas: *Accuracy*, *Specificity*, *Precision*, *Recall* (*Sensitivity*) e *F-score*. Além de utilizar medidas estatísticas convencionais (média e desvio padrão) para avaliar os resultados encontrados. Após o estudo realizado, verificou-se que o algoritmo de segmentação baseado no Método Niblack alcançou os melhores resultados em relação aos demais algoritmos de segmentação analisados. Sendo assim, observa-se que o processo de segmentação das imagens de raio-X panorâmico, baseado em limiarização, obteve significativa melhoria de desempenho quando utilizado um limiar local variando em diferentes regiões da imagem. Portanto, identificou-se por meio da presente pesquisa, o método de segmentação de imagem mais apropriado para adaptação ao domínio do problema estudado. Para trabalhos futuros, sugere-se a avaliação de métodos de segmentação baseados em aprendizagem

por classificação de padrões, utilizando as métricas apresentadas nesta pesquisa. Desse modo, pretende-se alcançar melhores resultados separando os dentes dos não dentes em imagens de ortopantomografia.

REFERÊNCIAS

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Digital Image Processing**. 3. ed. New York: Prentice Hall, Upper Saddle River, 2008.

NIBLACK, W. **An introduction to digital image processing**. Strandberg Publishing Company Birkeroed, 1985.

KREICH, E. M. et al. Imagem digital na odontologia. **UEPG Ciências Biológicas e da Saúde**, Ponta Grossa, v. 11, n. 3, p.53-61, 2005.

PUN, T. Entropic thresholding: a new approach. **Comput. Graph. Image Process**, v. 16, p. 210-239, 1981.

R. AUDIGIER; R. A. LOTUFO. The tie-zone watershed: Definition, algorithm and applications. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON IMAGE PROCESSING (ICIP 05), 2005. **Proceedings…** p. 654-657, 2005.

SEZGIN, M.; SANKUR, B. Survey over image thresholding techniques and quantitative performance evaluation. **Journal of Electronic Imaging**, v. 13, n. 1, p. 146-165, 2004.

Capítulo IX

MONITORAMENTO REMOTO E NÃO-INTRUSIVO DE IDOSOS

Márcio Soussa
Valter de Senna
Valéria L. da Silva
Charles Soares

MONITORAMENTO REMOTO E NÃO-INTRUSIVO DE IDOSOS

O aumento da expectativa de vida, ligado a fatores como o desenvolvimento econômico e o avanço tecnológico contribuíram de forma significativa para uma tendência atual que é a busca pela moradia unipessoal. Estima-se que em 2011, 15% dos domicílios em todo o mundo tinham apenas um morador e um aspecto importante desse cenário, é que essa tendência vem sendo observada também entre os idosos. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, em 2011, 14,4% dos idosos no Brasil moravam sozinhos. Contudo, o processo natural de envelhecimento traz graduais perdas físicas, mentais, cognitivas e sociais, o que se traduz em uma maior vulnerabilidade para o idoso. Portanto, este trabalho tem como objetivo propor um modelo computacional capaz de aprender alguns comportamentos rotineiros de um idoso que mora em um domicílio unipessoal e também identificar situações consideradas de risco para a sua saúde, através de dados coletados exclusivamente por sensores de ambiente. Como resultado, o modelo apresentou evidências da sua capacidade em aprender alguns padrões, como situações consideradas de risco.

INTRODUÇÃO

As populações no mundo inteiro estão envelhecendo de uma forma nunca vista na história de humanidade. De acordo com a World Health Statistics (WHS 2013) e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2013), a expectativa média de vida no Brasil e no mundo em 2012 era de 74,6 e 73 anos, respectivamente. Quanto aos idosos, isto é, pessoas com 60 anos ou mais, a *United Nations Population Fund* (UNFPA, 2012) afirma que em 2011, havia no Brasil e no mundo, aproximadamente 23,5 milhões e 810 milhões de pessoas, respectivamente.

Klinenberg (2012) informa que até a primeira metade do século XX, as pessoas sempre buscaram viver com outras pessoas e nunca sozinhas. Porém, a partir da segunda metade do século, começou um processo gradual de mudança de comportamento, onde foi possível perceber um número crescente de pessoas, de idades e em locais diferentes, buscando morar sozinhas.

O comportamento que era considerado padrão consistia nas pessoas se casando mais cedo e convivendo com o(a) parceiro(a) até a morte, e quando a viuvez acontecia de forma prematura, era comum se buscar um novo casamento. Quando a viuvez chegava numa idade mais avançada, a pessoa ia morar na casa de algum parente ou esse vinha morar na casa dele(a).

Klinenberg (2012) informa que esse comportamento tem mudado e os jovens estão se casando mais tarde, contudo, ao invés de morarem com os pais até o casamento, como outrora, preferem morar sozinhos. Em caso de divórcio, moram mais tempo sozinhos até se engajarem em um novo arranjo familiar e no caso dos idosos, quando se tornam viúvos, preferem morar sozinhos, de forma independente, sem a companhia de filhos e netos.

Euromonitor (2012) estimou que de 2001 a 2011, houve um crescimento de 30,1% no número de domicílios unipessoais no mundo, representando 14,9% do total de domicílios no ano de 2011. Na Tabela 1, é possível visualizar o percentual de domicílios unipessoais em alguns países e percebe-se que as maiores taxas são encontradas em países desenvolvidos, principalmente do norte da Europa, mas Klinenberg (2012) afirma que o número de domicílios unipessoais está crescendo de uma forma significativa na China, no Brasil e na Índia. Entende-se por domicílio unipessoal, o domicílio onde mora apenas uma pessoa.

Tabela 1 — Proporção de domicílios unipessoais em alguns países, em 2011.

País	Domicílios Unipessoais (%)
Suécia	47
Dinamarca	40
Noruega	40
Reino Unido	34
África do Sul	24
Brasil	10
Índia	3

Fonte: Euromonitor (2012).

Já o PNAD (2012) apresenta resultados ligeiramente diferentes em relação ao Brasil. De acordo com a referida fonte, de 2001 a 2011, houve um crescimento de 35,6% no número de domicílios unipessoais, representando em 2011, 12,4% do total de domicílios e afirma ainda que desse universo de domicílios unipessoais, 42,3% era formado por idosos. A referida fonte também apresenta o percentual de domicílios unipessoais por estado, tendo o estado do Amazonas, o menor valor, 8% de domicílios unipessoais, enquanto o Rio de Janeiro possui o maior percentual, 17,1.

De acordo com Jaffe (2013) e Klinenberg (2012), essa realidade se tornou possível por conta de um conjunto de fatores, como o aumento da expectativa de vida, o crescimento econômico, o aprimoramento dos sistemas de seguridade social, o processo crescente de urbanização das cidades e o desenvolvimento tecnológico.

De acordo com alguns autores da área, as razões que levam as pessoas a morarem sozinhas variam de acordo com a faixa etária. No caso dos mais jovens, eles buscam um novo estilo de vida e oportunidades de crescimento pessoal e profissional. No caso dos idosos, após criarem seus filhos e posteriormente se divorciarem ou se tornarem viúvos, decidem por morar sozinhos, de forma independente, sem a companhia de familiares.

United Nations (2005) estimou que em 2005, 90 milhões de idosos já moravam sozinhos no mundo. No Brasil, PNAD (2012) contabilizou em 2011, aproximadamente 3,4 milhões de idosos morando sozinhos.

Essa tendência dos idosos em morarem sozinhos tem despertado bastante preocupação e interesse dos estudiosos da área, pois o processo natural de envelhecimento traz graduais perdas físicas, mentais, cognitivas e sociais, o que se traduz em uma maior vulnerabilidade para o idoso (UNITED NATIONS, 2010). Alguns estudos informam que os idosos que moram sozinhos estão mais propensos a solidão, depressão, além da falta de assistência em caso de desmaios, quedas ou problemas de saúde, comparados com os aqueles que moram com seus familiares. Alguns dados ajudam a ter uma dimensão da situação. O Ministério da Saúde estima que mais de 30% dos idosos caem uma vez por ano e que entre os idosos com 85 anos ou mais, mais de 50% caem a cada ano. As quedas são a 6° causa de morte entre os idosos no Brasil.

Uma consequência ainda mais grave e que já começa a aparecer nas estatísticas é o aumento no número de pessoas que morrem sozinhas em seus domicílios. *The Guardian* (2005) afirma que em 2005, na Inglaterra, em torno de 60 pessoas morreram sozinhas em suas casas, semanalmente. *Japan Today* (2011) informou que em Tokyo, capital do Japão, estima-se que 10 pessoas morrem sozinhas em casa por dia e, somente no ano de 2008, morreram 2.211 idosos com 65 anos ou mais, em casa, sozinhos.

Diante desse contexto, é possível perceber um cenário apropriado para o uso de novas tecnologias de suporte à qualidade de vida, que permitam monitorar e acompanhar remotamente pessoas que moram sozinhas, dentro dos seus ambientes domiciliares. Essas tecnologias almejam contribuir para o bem-estar e a segurança dessas pessoas, de forma a detectar com maior brevidade, possíveis problemas.

O segmento de assistência à saúde domiciliar tem crescido de forma substancial nos últimos anos, caracterizando uma mudança nos pa-

drões tradicionais de assistência à saúde, saindo dos ambientes hospitalares e migrando para os lares das pessoas (INMEDICA, 2011). O mercado global de tecnologias de assistência ao idoso movimentou em 2012, algo em torno de 2,7 bilhões de dólares, e estima-se que alcance aproximadamente 7,2 bilhões, em 2018 (BBC RESEARCH, 2013).

BBC Research (2013) e InMedica (2011) afirmam que essas tecnologias prometem reduzir drasticamente os custos com a assistência à saúde, através da percepção e do atendimento antecipados de possíveis problemas, evitando o agravamento do estado de saúde da pessoa e consequentemente, minimizando os altos custos de internamento.

Alguns estudos já demonstram uma relação entre o monitoramento de pacientes dentro de seu ambiente domiciliar e o número de visitas hospitalares, como em Pare (2007). Eles informam que em um estudo realizado com pacientes com problemas pulmonares e cardíacos, monitorados dentro de seus ambientes domiciliares, houve uma melhora consistente nos seus resultados clínicos, através de uma redução no número de visitas emergenciais, admissões hospitalares e o tempo médio de internação hospitalar.

Na atualidade, há uma grande variedade de projetos e produtos sendo desenvolvidos nessa área e é possível categorizá-los em dois tipos: o primeiro abrange o conjunto de soluções que tem como objetivo monitorar uma pessoa, sem necessariamente aprender o seu comportamento rotineiro, como é o caso dos botões de emergência, botões de pânico e alguns sistemas que utilizam câmeras de vídeo, biosensores e sensores acoplados ao corpo, como em Carvalho (2012) e Bottrel (2010).

A outra categoria compreende soluções que monitoram o dia-a-dia de uma pessoa dentro da sua residência, extraindo informações que são interpretadas por sistemas de reconhecimento de padrões, possibilitando o aprendizado rotineiro da pessoa. Muitas dessas soluções utilizam de alguma forma, uma combinação de sensores de ambien-

te, câmeras de vídeo e até mesmo robôs, para capturar as informações, como em Cesta e colaboradores (2011) e Seki (2010).

Três aspectos relevantes, porém, são ressaltados no que tange a implementação de sistemas dessa natureza: a privacidade e o conforto da pessoa monitorada e o custo do produto.

A questão da privacidade do paciente monitorado tem sido abordada em diversas pesquisas. Cavoukian e colaboradores (2010), por exemplo, questionam a segurança no envio de informações da saúde do paciente, como glicemia, pressão, temperatura corporal e outros, de forma remota. Outra dimensão envolvendo a questão da privacidade, diz respeito ao uso de soluções que utilizam câmeras de vídeo ou similares, pois elas capturam imagens da pessoa na sua intimidade, podendo gerar incômodo para a pessoa monitorada.

A questão do conforto diz respeito ao uso de sensores acoplados ao corpo da pessoa monitorada, como botões de emergência, braceletes e chips acoplados à roupa. A eficácia desses produtos exige que eles estejam o maior tempo possível acoplado ao corpo da pessoa monitorada e muitas delas se sentem incomodadas e até mesmo estressadas em usá-los.

O último aspecto está relacionado com custo das soluções, pois quanto mais complexa a tecnologia, maior tende a ser o custo do projeto, principalmente no caso de sistemas que utilizam robôs. Vale ressaltar que o principal objetivo de todas essas tecnologias é a promoção da saúde da pessoa monitorada, então se justifica uma constante busca por soluções que apresentem custos mais baixos.

Por fim, é possível perceber que ainda há muitas possibilidades de desenvolvimento de pesquisas nessa área, como por exemplo, a criação de um modelo computacional capaz de aprender o comportamento de pessoas que moram em ambientes unipessoais, baseado apenas em dados capturados por sensores não intrusivos de ambiente, de fácil instalação e baixo custo, que é a proposta deste trabalho.

MATERIAIS E MÉTODOS

O modelo proposto tem como objetivo interpretar dados coletados da casa de um indivíduo que vive sozinho, aprender alguns dos seus comportamentos rotineiros e informar quando forem detectadas situações consideradas de risco para a sua saúde ou para o funcionamento do sistema. O modelo faz parte de um sistema de monitoramento, que está descrito na Figura 1.

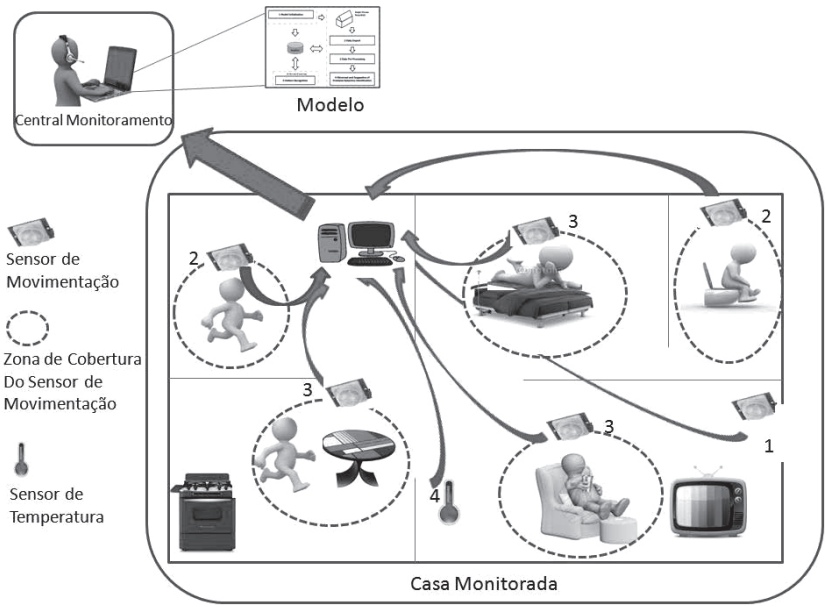


Figura 1 — Visão geral do funcionamento do sistema.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Quando uma pessoa se move dentro do raio de alcance de um sensor de movimentação, este transmite um sinal contendo o momento da movimentação da pessoa e a identificação do sensor ativado. No caso do sensor de temperatura, é transmitido um sinal com a temperatura do ambiente, em intervalos de tempo regulares. Esses sinais são capturados e armazenados em um computador instalado na casa

da pessoa e com uma frequência pré-determinada, são transmitidos para uma central de monitoramento localizada fora da casa e processados pelo modelo aqui proposto.

O modelo possui três macroprocessos: Pré-Processamento de Dados, Identificação de Situações Anormais e Reconhecimento de Padrões, conforme pode ser visto na Figura 2.

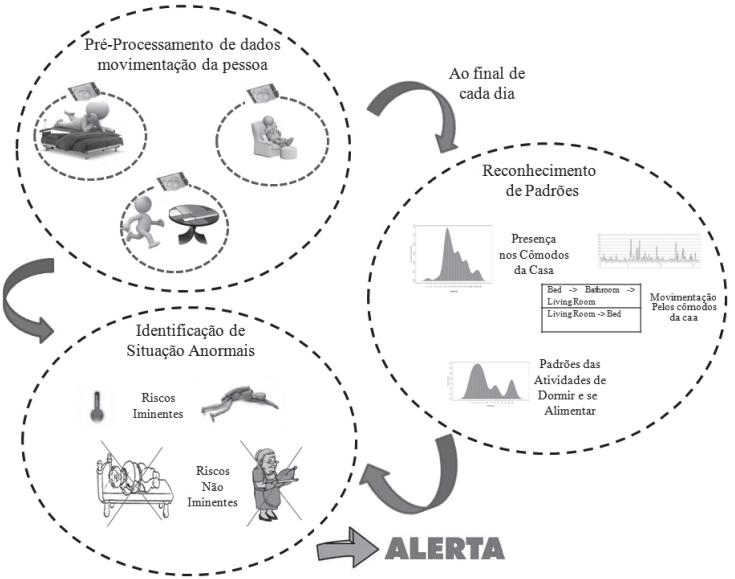


Figura 2 — Visão geral do modelo proposto.

Fonte: Elaborado pelos autores.

O **Pré-Processamento de Dados** tem como objetivo ler os sinais oriundos da casa monitorada e tentar inferir a atividade que a pessoa está realizando no momento e que é de interesse do modelo, como por exemplo, dormir, fazer uma refeição, movimentar-se pela casa e entrar e sair dela. Ele também realiza mudanças nas estruturas dos dados com o propósito de adequá-los aos algoritmos que serão executados no processo **Reconhecimento de Padrões**.

Para cada sinal que chega da casa, o modelo também realiza um conjunto de verificações com o objetivo de identificar situações consideradas críticas para a saúde da pessoa, como também para o funcionamento do sistema. Este é o objetivo do processo I**dentificação de Situações Anormais**. Ao final de cada dia, o processo **Reconhecimento de Padrões**, que consiste de alguns algoritmos de reconhecimento de padrões, é executado com o propósito de atualizar os padrões de comportamento da pessoa, com os dados pré-processados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo proposto foi testado com dados extraídos de um ambiente virtual que simula o comportamento um idoso que vive sozinho. O programa gerador de dados foi proposto por Almeida (2013) e baseia-se no conceito de computação baseada em agentes. Ele simula a realização de um conjunto de tarefas rotineiras de uma pessoa que mora em um domicílio unipessoal e grava a sua movimentação em um arquivo físico, em formato texto.

Antes de iniciar a rotina de simulação, contudo, o programa gerador de dados exige que seja cadastrado o idoso, cujo comportamento se pretende simular, como também, devem ser cadastrados os seus horários habituais de dormir, acordar, tomar café, almoçar, tomar banho, etc. Essas informações são extraídas de um questionário respondido pelo próprio idoso.

Posteriormente, deve-se escolher uma das plantas baixas já disponibilizadas pelo programa ou criar uma nova e posicionar os agentes *sensores*, conforme pode ser visto no exemplo da Figura 3. Nela, é possível visualizar os cômodos e móveis de uma residência, como também os agentes *sensores de movimentação*, representados pelo *x* e o agente *sensor de temperatura*, representado pelo *o*.

Figura 3 — Exemplo de uma planta baixa de uma casa e os agentes sensores nela posicionados.

Fonte: Almeida (2013).

A saber, no contexto de uma simulação computacional baseada em agentes, um agente é uma entidade que possui objetivos e que para atingi-los, deve ser capaz de se comunicar com outros agentes e interagir com o ambiente no qual estão inseridos. (SIGNORETTI, 2012 apud ALMEIDA, 2013).

O programa exige também uma configuração da latência e do alcance dos agentes *sensores*. A latência corresponde ao tempo mínimo entre duas ativações consecutivas de um mesmo sensor e o alcance, neste ambiente virtual, corresponde a uma área quadrada ao redor do sensor. Para exemplificar, um alcance com valor 2 compreende uma área ao redor do sensor de 2 *patchs* em cada direção, conforme pode ser visto na Figura 4.

A saber, um *patch*, no contexto de uma simulação baseada em agentes, corresponde a um agente estático que cobre uma pequena área do ambiente modelado. Na Figura 4, ele está representado pelos quadrados em azul.

Figura 4 — Área de alcance de um sensor de movimentação no ambiente virtual.

Fonte: Almeida (2013).

Ao iniciar a rotina de simulação, o programa cria um plano com as tarefas a serem realizadas pelo agente *idoso*, diariamente. Este começa então a se movimentar pela casa no intuito de realizar as tarefas programadas e ao passar pelo raio de alcance de algum agente *sensor de movimentação*, o programa grava em disco, dados dessa movimentação.

No experimento realizado, simulou-se o comportamento de um idoso do sexo masculino e com 67 anos de idade, durante 25 dias. A Tabela 2 apresenta o questionário respondido pelo idoso.

Tabela 2 – Proporção de domicílios unipessoais em alguns países, em 2011.

Pergunta	**Resposta**
Qual horário costuma dormir?	23:00 às 2:00
Qual horário costuma acordar?	5:00 às 6:00 (dia útil) e 6:00 às 7:00 (fim de semana e feriado)
Quantas vezes costuma levantar à noite?	3 a 4 para ir ao banheiro
Qual(is) horário(s) costuma tirar cochilo?	10:00 às 11:00 e 13:00 às 14:00
Qual horário costuma tomar café da manhã?	6:00 às 8:00 (preparo e consumo)
Qual horário costuma almoçar?	13:00 às 14:00 (Não costuma realizar a refeição em casa)
Qual horário costuma jantar?	19:00 às 20:00 (preparo) e 21:00 às 23:00 (consumo)

Fonte: Elaborado pelos autores.

As Figuras 5 e 6 apresentam alguns padrões aprendidos pelo modelo, apresentados através de funções densidade referentes às movimentações do idoso por entre os cômodos e móveis da casa.

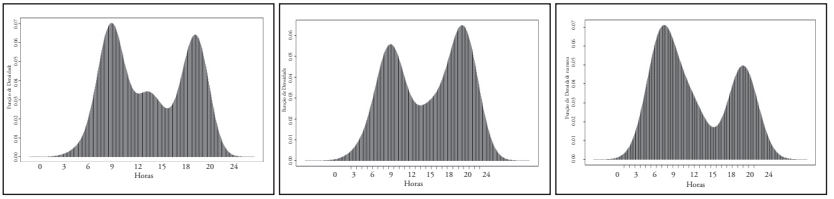


Figura 5 — Funções Densidade (*kernel*) de movimentação do idoso pela sala, sofá e mesa, da esquerda para a direita, respectivamente.

Fonte: Elaborado pelos autores.

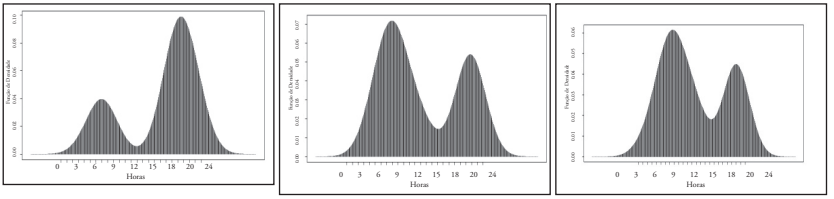


Figura 6 — Funções Densidade (*kernel*) de movimentação do idoso pela cozinha, banheiro e cama, da esquerda para a direita, respectivamente.

Fonte: Elaborado pelos autores.

A Figura 7 apresenta o resultado da aplicação de um algoritmo de identificação de *outliers*. O eixo x representa cada noite monitorada e o eixo y, o grau de desvio (*outlierness*) de uma noite. Quanto mais distante do valor 1, mais atípico foi o comportamento da atividade de dormir, seja no horário de dormir, horário de acordar, tempo na cama e/ou a quantidade de despertares noturnos.

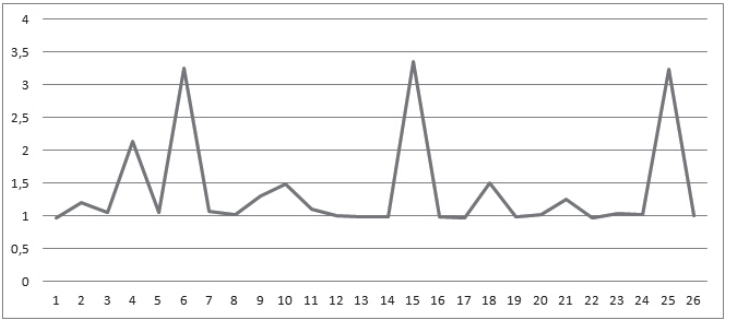


Figura 7 — Resultado da aplicação do algoritmo de detecção de *outlier* (*LoF — Local Outlier Factor*).

Fonte: Elaborado pelos autores.

CONCLUSÃO

As hipóteses que nortearam esse trabalho traduziram a expectativa que os autores tinham quanto à possibilidade de criar um modelo computacional capaz de aprender os hábitos de uma pessoa que mora sozinha, utilizando tão somente, dados gerados por sensores de ambiente e de baixo custo, como o de presença e o de temperatura, e que mesmo com as suas imprecisões, ainda assim, fosse possível aprender determinados comportamentos rotineiros da pessoa e identificar algumas situações de risco.

Através das funções densidade e do algoritmo de detecção de *outlier* acima apresentados foi possível reconhecer alguns padrões de comportamento da pessoa monitorada, mais especificamente, os horários que a pessoa mais frequenta os cômodos e móveis monitorados e ainda identificar comportamentos atípicos e sugestivos de problema, como por exemplo, os pontos 6, 15 e 25 da Figura 7.

Espera-se que este trabalho sirva de subsídio para novos trabalhos relacionados com a área de monitoramento e reconhecimento de padrões de idosos que vivem sozinhos e que tenham como propósito contribuir para a melhoria da qualidade de vida.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F., B. **Um modelo baseado em agentes para simulação de indivíduos em residências unipessoais**. Dissertação (Mestrado em modelagem computacional e tecnologias industriais). Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC. Salvador, 2013.

BBC RESEARCH. **Technologies for long-term care and home healthcare**: global markets. Wellesley MA, ago. 2013. Disponível em: <http://www.bccresearch.com/report/download/report/hlc079b>. Acesso em: 04 fev.2016.

BOTTREL, F. **Chip monitora cotidiano de idosos**. jul. 2010. Disponível em: <http://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/ciencia-e-saude/2010/07/19/interna_ciencia_saude,203166/index.shtml>. Acesso em: 17 abr. 2014.

CARVALHO, S.; COPETTI, A.; FILHO, O. **Um sistema computacional inteligente de assistência domiciliar à saúde**. 2012. Disponível em: <http://www.tempo.uff.br/arquivos/cbis2010_st-carvalho.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2014.

CAVOUKIAN, A. et al. Remote home health care technologies: how to ensure privacy? Built it. **Privacy by Design**. Sprinker. 2010.

CESTA, A. et al. Monitoring elderly people with the robocare domestic environment: interactions synthesis and user evaluation. **Journal of Computational Intelligence**. v. 27, n. 1., p. 60-82, fev. 2011.

EUROMONITOR. **Special Report**: Rise in Single-Person Households Globally Impacts Consumer Spending Patterns. 2012. Disponível em: <http://www.docstoc.com/docs/152262301/Rise-in--Single-Person-Households-Globally-Impacts-Consumer>. Acesso em: 21 jan. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA — IBGE. **Em 2012, esperança de vida ao nascer era de 74,6 anos.** 2013. Disponível em: <http://saladeimprensa.ibge.gov.br/noticias?view=noticia&id=1&busca=1&idnoticia=2528>. Acesso em: 20 dez. 2014.

INMEDICA. **Global telehealth market set to exceed $1 billion by 2016**. set. 2011. Disponível em: <http://telecomengine.com/article/global-telehealth-market-set-exceed-1-billion-2016>. Acesso em: 29 jan. 2016.

JAFFE, E. **The rise of people living alone has led to more sustainable cities**. 2013. Disponível em: <http://www.theatlanticcities.com/jobs-and-economy/2013/07/rise-people-living-alone-has-led-more-sustainable-cities/6212/>. Acesso em: 21 jan. 2014.

JAPAN TODAY. **No. of people dying alone rises in no-relantionship society**. 2011. Disponível em: <http://www.japantoday.com/category/kuchikomi/view/no-of-people-dying-alone-rises-in-no-relationship-society>. Acesso em: 12 jul. 2014.

KLINENBERG, E. **I want to be alone**: the rise and rise of solo living. 2012. Disponível em: <http://www.theguardian.com/lifeandstyle/2012/mar/30/the-rise-of-solo-living>. Acesso em: 20 jan. 2014.

PARE, G.; JAANA, M.; SICOTTE, C. Systematic review of home telemonitoring for chronic diseases: the evidence base. **Journal of the American Medical Informatics Association**, v. 14, n. 3, p. 268-277, maio- jun. 2007.

PNAD. **S**íntese de indicadores sociais: uma análise das condições da vida da população brasileira 2012. 2012.

SEKI. H., TADAKUMA, S. Nondaily behavior detection monitoring system for elderly people based on Bayesian Network Representation of Omnidirectional Vision Sensor. **Journal of Electrical Engineering in Japan**. v. 172, n. 3, p. 42-51, ago. 2010.

SIGNORETTI, A. **Agentes inteligentes com foco de atenção afetivo com simulações baseadas em agentes**. 2012. 229 f. Tese (Doutorado em Automação e Sistemas; Engenharia de Computação; Telecomunicações) — Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

THE GUARDIAN. **60 people a week dying alone at home, says MP**. 2005. Disponível em: <http://www.guardian.co.uk/society/2005/dec/29/socialcare.uknews>. Acesso em: 12 jul. 2014.

UNFPA. **Chapter 1**: setting the scene. 2012. Disponível em: <https://www.unfpa.org/webdav/site/global/shared/documents/publications/2012/UNFPA-Report-Chapter1.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2014.

UNITED NATIONS. **Living Arrangements of older persons around the world**. United Nations. 2005.

UNITED NATIONS. **Current status of the social situation, well-being, participation in development and rights of older persons worldwide**. United Nations. 2010.

WHS. **World Health Statistics 2013**. 2013. Disponível em: <http://www.who.int/gho/publications/world_health_statistics/EN_WHS2013_Full.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2016.

Capítulo X

USO DE APRENDIZAGEM PROFUNDA EM DETECÇÃO AUTOMÁTICA DE RETINOPATIA DIABÉTICA

Navjot Kukreja
Valter de Senna

USO DE APRENDIZAGEM PROFUNDA EM DETECÇÃO AUTOMÁTICA DE RETINOPATIA DIABÉTICA

A Retinopatia Diabética (RD) é uma enfermidade do olho associada com a diabete prolongada. Ela causa o maior número de casos de cegueira na faixa etária de 20-64 anos no mundo. De acordo com estimativas, ela afeta 93 milhões de pessoas no mundo (2012). Sua detecção ocorre por meio do exame de retina. Este texto fala sobre as técnicas de visão computacional no contexto da área de saúde, especificamente o diagnóstico automático de RD. Aprendizagem profunda é uma técnica relativamente nova, baseada em redes neurais, que está sendo aplicada em todas as áreas de reconhecimento de imagens. Esta técnica é muito generalizada e se aplica bem em vários tipos de imagens e geralmente supera todas as outras metodologias clássicas.

INTRODUÇÃO

As Redes Neurais são uma classe de modelos matemáticos que foram inicialmente inspiradas pela estrutura do cérebro humano. Devido à disponibilidade de grandes conjuntos de dados e poder computacional nos últimos tempos, somos capazes de treinar cada vez mais modelos de redes neurais maiores — que produzem melhores resultados e por sua vez alimentam mais interesse na área. Deve-se notar, contudo, que mesmo o mais complexo destes modelos não chega perto do funcionamento do cérebro humano em geral.

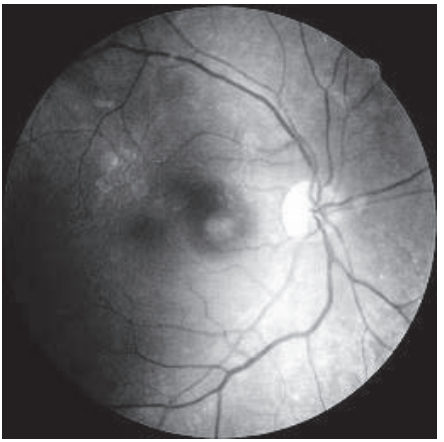


Figura 1 — Imagem de um olho normal (sem retinopatia).

Fonte: Kaggle.

O interesse em Redes Neurais vem do fato de que esses modelos matemáticos são capazes de resolver problemas previamente pensados para exigir uma inteligência humana. Estes incluem reconhecimento de linguagem falada, conversão de texto em voz, ou identificar certas características em imagens. Algoritmos baseados em tais modelos estão ficando cada vez melhores e são capazes de vencer o desempenho humano em tarefas específicas, tais como a identificação das espécies de um cão em uma imagem (SIMONYAN; ZISSERMAN, 2015), ou detecção de anomalias no resultado de exame médico (CIRESSAN et al., 2013). Seu uso potencial na medicina é de especial interesse, já que o número de profissionais médicos qualificados no mundo não está crescendo a uma taxa semelhante ao do crescimento da população em geral e há sempre uma falta de médicos nos centros de doenças, especialmente nos países em desenvolvimento. Apesar de terem sido utilizados para a detecção do câncer (CIRESSAN et al., 2013), de anomalias cardíacas (WEEMS et al., 2016) e modelagem matemática do funcionamento do cérebro humano (Arbib, M.A., (2003)), discute-se a sua aplicabilidade no diagnóstico de uma doença conhecida como retinopatia diabética, que é o objeto deste capítulo.

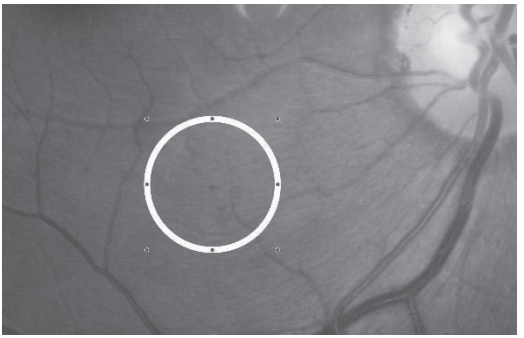


Figura 2 — Uma imagem de um olho com retinopatia nível 1, magnificada para focar na característica que levou ao diagnóstico — o ponto vermelho (RDNP).

Fonte: Kaggle.

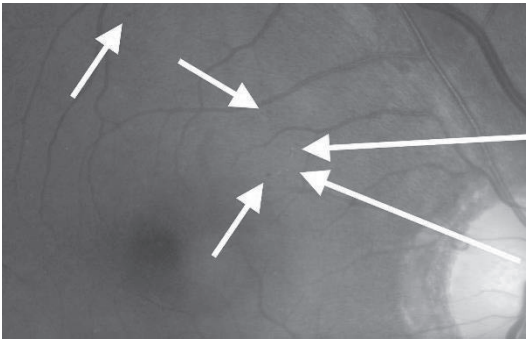


Figura 3 — Imagem de um olho com retinopatia nível 2, focando nas características que levaram ao diagnóstico (RDNP).

Fonte: Kaggle.

RETINOPATIA DIABÉTICA

Retinopatia diabética (RD) é uma das complicações mais importantes da diabetes e é uma das principais causas de cegueira. A detecção e tratamento precoce dela é essencial para prevenir a cegueira. Os oftalmologistas utilizam uma lente para olhar através das pupilas dilatadas do paciente e ver a retina na parte de trás do globo ocular a

procura de sintomas que indicam alterações nos vasos sanguíneos (The College of Optometrists (2015?); National Institutes of Healh (2015)). RD é classificada em retinopatia diabética não proliferativa (a RDNP) e retinopatia diabética proliferativa (RDP). A RDNP é caracterizada pela presença de lesões tais como exudados e hemorragias e é a fase menos grave. RDP é caracterizada pela presença de lesões, bem como o crescimento de vasos sanguíneos estranhos que têm uma forma ondulada característica. A escala internacional de gravidade clínica da retinopatia diabética define 5 estágios de gravidade em termos de sintomas como vistos nas imagens, e listadas na Tabela 1 (Haneda e Yamashita, 2010).

Como o número de indivíduos com diabetes continua a crescer, a infraestrutura necessária para prevenir a cegueira devido à retinopatia se tornará cada vez mais insuficiente. Por isso é essencial desenvolver alternativas computacionais ou sistemas de apoio para aumentar a capacidade de diagnóstico de médicos altamente treinados.

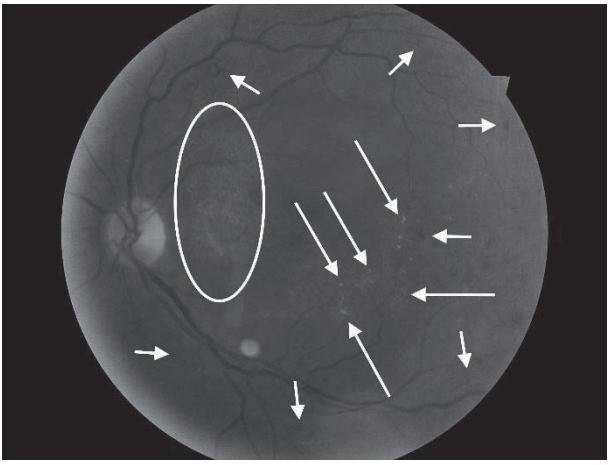


Figura 4 — Imagem de olho com retinopatia nível 3 (RDNP).

Fonte: Kaggle.

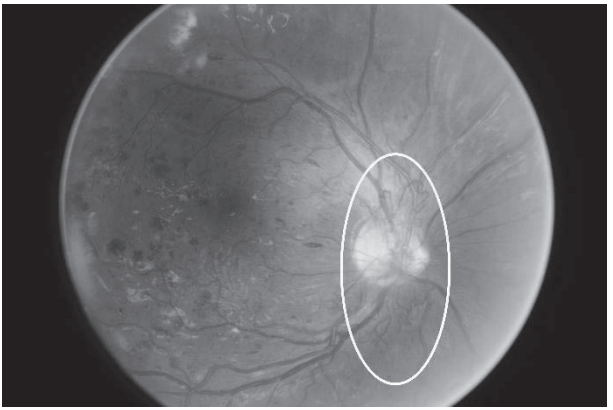


Figura 5 — Imagem de um olho com retinopatia (RDP) nível 4.

Fonte: Kaggle.

Tabela 1 — Os estágios de retinopatia segundo a escala internacional de severidade clínica da retinopatia diabética

Nível de Severidade da Doença	Constatações Observáveis
0	Não patológico, não RDNP
1	RDNP leve, micro aneurismas (machas vermelhas) que são a fonte de exsudatos duros (pontos amarelos de alto contraste) as vezes em padrões circulares
2	RDNP moderada. Mais do que micro aneurismas, talvez no formato de bolas de algodão (manchas claras e difusas)
3	RDNP severa: IRMA, sangramento venoso em 2 quadrantes ou mais, 20 ou mais hemorragias intra-retinais, sem sinais de RDP
4	Neovascularização (frequentemente vasos serpenteados), hemorragia vítrea ou pré-retinal, RDP

Fonte: Haneda e Yamashita (2010).

COMPUTAÇÃO NEURAL

A maioria do que hoje é conhecido como computação convencional pode ser atribuído à arquitetura de computadores primeiramente descrita por John Von Neumann em 1945 (NEUMANN, 1987). Sua ideia de uma unidade lógica e aritmética e uma unidade de controle que interagem com uma unidade de memória, levou ao conceito de programa armazenado. A maior parte do que conhecemos hoje como programação de computador deriva desse conceito de programa armazenado. Um elemento essencial do conceito de programa armazenado, que continua nas linguagens de alto nível que usamos até hoje, é que o computador precisa de um algoritmo para executar qualquer tarefa. Este algoritmo precisa quebrar sua tarefa em pequenas manipulações de dados. Esta abordagem de programação de um computador funciona muito bem para certos tipos de problemas, por exemplo para jogar xadrez. Com o tempo, a abordagem do *programa armazenado* tornou-se tão onipresente que para qualquer problema que não pudesse ser resolvido por esta abordagem, a percepção comum foi levada a imaginar que para tal problema seria necessária uma inteligência semelhante à humana e que os computadores não seriam capazes de resolver o problema.

Tabela 2 — Comparação do Modelo de programa armazenado e Rede Neural.

Característica	Armazenamento modelos de programa	Rede Neural
Método de aprendizagem	Pelas regras (didático)	Pelos exemplos (socrático)
Funções	Lógica	Perceptualmente
Estilo de processamento	Sequencial	Paralelo

Fonte: Agatonovic-Kustrin and Beresford, (2000).

As diferenças conceituais entre a organização da computação em Redes Neurais e o modelo de Von Neumann, produzem uma grande

diferença na forma como eles são usados. Programas no modelo de Von Neumann tendem a ser muito sensíveis a variações em suas entradas. Para um problema como a visão computacional, isso pode gerar dificuldades rapidamente, tentando "ensinar" um computador a identificar um objeto que ele "vê" em imagens. Embora seja uma tarefa que os seres humanos aprendem com facilidade, seria muito difícil, ou talvez impossível de implementar isso usando um algoritmo de *programa armazenado*. Isso ocorre porque o objeto pode parecer diferente a partir de diferentes ângulos ou distâncias, ou em diferentes ambientes de fundo ou condições de iluminação. As pequenas distorções que parecem insignificantes para a mente humana, apresentam-se como uma entrada completamente nova para o *programa armazenado*. A Rede Neural, no entanto, produz resultados que são muito mais estáveis, mesmo ocorrendo distorções na entrada. Devido à sua estrutura em camadas é capaz de tirar conclusões a um nível conceitualmente mais elevado do que o programa armazenado. Não se trata apenas de ver pixels vermelhos cercados por marrom, e sim de realmente identificar a maçã. O fato de que as redes neurais modernas superam os seres humanos em algumas tarefas de visão é prova suficiente disso (CIRESSAN et al., 2013).

HISTÓRIA

As Redes Neurais têm tido altos e baixos ao longo da sua história. Elas foram primeiramente descritas por McCulloch e Pitts (1943), no mesmo tempo que as primeiras ideias de programação de computadores estavam sendo desenvolvidas. Em 1949, Hebb escreveu um livro intitulado "A Organização do Comportamento", que delineou a metodologia da aprendizagem em seres humanos. A maioria das regras de aprendizagem utilizadas hoje usam esta metodologia, chamada *Hebbian learning*. Em 1951, Marvin Minsky criou o primeiro neurocomputador chamado *Snark*. Em 1957, o Mark 1 Perceptron foi construído e tornou-se o primeiro neurocomputador usado para fins comerciais. No ano seguinte, o próprio Von Neumann publicou um livro sobre neurocomputação chamado "O computador e

o cérebro". Abastecido por esse progresso, o interesse neste campo continuou até o livro de Marvin Minsky, chamado "*Perceptron*", publicado em 1969. Este livro sugeriu que Redes Neurais tivessem algumas "falhas fatais", como por exemplo, a incapacidade de modelar uma função XOR. O livro infelizmente levou o financiamento e interesse em pesquisas para longe das Redes Neurais, e tornou à década de 1970 uma década quase paralisada em termos de pesquisa em inteligência artificial, apelidado de "inverno da IA". O interesse foi retomado em 1982 pelo físico John Hopfield que trouxe as analogias da termodinâmica para a análise de redes neurais. Na década seguinte progressos significativos seriam feitos, incluindo o algoritmo *Backpropagation* que é o algoritmo principal de aprendizagem utilizado hoje. Após uma onda de interesse nos anos 80, a investigação nesta área quase parou novamente durante os anos 90, porque esses modelos eram considerados caixa-preta, ou seja, os seus métodos não podem ser interpretados. Este foi um fator gravemente limitante no uso destes modelos na negociação de ações financeiras. Por exemplo, uma decisão de compra / não-compra desacompanhada de um motivo que apoie essa decisão, pode não ser confiável para uma decisão de investimento envolvendo milhões de dólares, ou no caso da avaliação de risco de crédito para os bancos, em que a decisão de não conceder crédito a um cliente precisa ser apoiada por um motivo razoável segundo requerimentos regulamentares. Outro fator que limitou o seu uso foi que os algoritmos prevalentes na época só eram capazes de treinar redes muito pequenas. Isto limitava a capacidade de aprendizagem da rede, o que limitou as suas aplicações práticas. Esse cenário mudou em 2006 por causa de três artigos (G Hinton, Osindero e Teh (2006), Ranzato e colaboradores (2006) e Bengio e colaboradores (2007)). Este foi um ponto claro de inflexão na história desta área, que provocou enorme interesse em Redes Neurais tanto da academia bem como da indústria. Novas realizações significativas foram alimentadas por uma combinação de aumento do poder computacional disponível para treinar essas redes através de GPU e *clusters* de alto desempenho, novas estruturas de

rede neural — a rede neural convolucional — que reduziram drasticamente o número de parâmetros a serem treinados, bem como novos algoritmos de aprendizagem. Hoje está área está se movendo tão rápido que novos algoritmos e abordagens estão sendo liberadas quase todas as semanas.

APRENDIZAGEM PROFUNDA — O QUE É?

Uma rede com menos camadas é chamada de rede rasa enquanto a outra com mais camadas é chamada de rede profunda, levando ao chavão dos tempos atuais — aprendizagem profunda. Já que as redes neurais aproveitam da arquitetura em camadas para ter a vantagem da aprendizagem hierárquica, as redes mais profundas têm muito mais capacidade de aprendizagem e são capazes de aprender muito mais características de alto nível. No entanto, até muito recentemente, redes profundas foram consideradas muito difíceis de treinar. Pesquisas recentes tem sido capazes de treinar redes muito mais profundas do que antes e redes com 20 ou mais camadas se tornaram comum.

REDES NEURAIS CONVOLUCIONAIS

Inspirada por processos biológicos, usados principalmente para aplicações de visão, Redes Neurais Convolucionais (RNC) usam uma estrutura em que um neurônio responde a regiões de sobreposição, também chamadas de campos receptivos da imagem. Descritas pela primeira vez em Fukushima (1980), e melhoradas por LeCun e colaboradores (1998); elas foram ainda mais refinadas e simplificadas por Behnke (2003), D. C. Ciresan e colaboradores (2011) e Simard, Steinkraus e Platt (2003). D. Ciresan, Meier e Schmidhuber (2012) melhorou estas redes ao ponto que elas superaram todos os algoritmos anteriores em todos os pontos de referência populares na literatura acadêmica sobre a visão computacional. Redes baseadas nesta estrutura tornaram-se onipresentes e substituíram todas as outras técnicas usadas anteriormente em visão computacional.

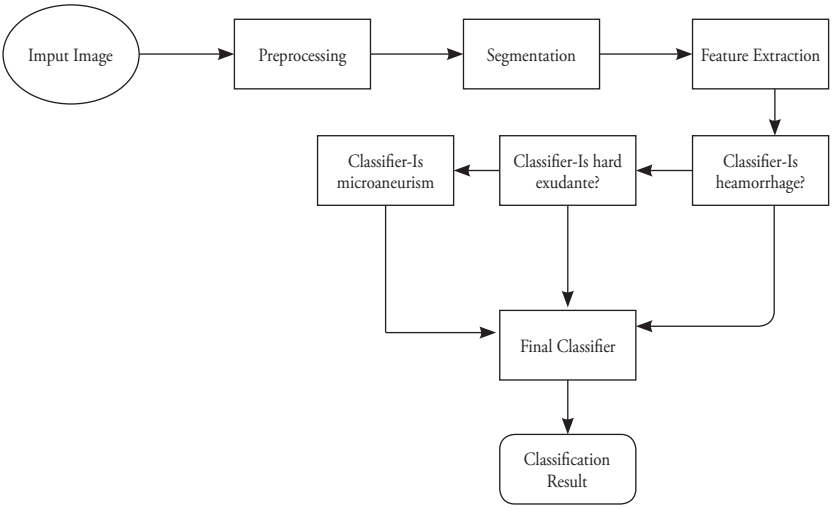


Figura 6 — O método clássico de visão computacional

Fonte: Elaborado pelos autores.

Essa mudança ocorreu porque as antigas técnicas de visão computacional envolviam treinamento separado de etapas de segmentação de imagem, extratores de características e classificadores. Cada uma dessas etapas de treinamento exigem uma seleção cuidadosa por parte do designer do modelo, muitas vezes baseadas em um amplo conhecimento de domínio do problema. O treinamento dessas etapas requer dados amplamente rotulados. Por exemplo, para treinar um algoritmo de segmentação para o problema da detecção de retinopatia, seria necessário um conjunto de dados em que cada imagem tenha as lesões que caracterizam retinopatia marcado com etiquetas. A obtenção de tal conjunto de dados é frequentemente muito difícil e demorada. Por outro lado, uma rede neural convolucional aprende os passos de segmentação de imagem, extração de características e de classificação internamente como parte de sua natureza de auto-organização. A rede leva diretamente a informação do pixel da imagem como entrada, e o rótulo de classe como a saída esperada. Isto torna fácil a obtenção de grandes conjuntos de dados de treinamento

e também desobriga o designer a fazer a escolha dos algoritmos de segmentação, extração de características e de classificação, produzindo resultados muito melhores do que os algoritmos artesanais. Isto também significa que o designer do modelo não precisa de conhecimento do domínio do problema. Por exemplo, no caso do presente estudo, muito pouca informação sobre a retinopatia ou a estrutura do olho foi considerado ao conceber o modelo.

Figura 7 — O método de visão computacional com Redes Convolucionais.

Fonte: Elaborado pelos autores.

O centro de uma rede neural convolucional é a operação de *convolução*. A imagem de entrada é convolucionada com um *kernel* de convolução (filtro), cujos parâmetros são aprendidos no treinamento. Ao aprender o filtro como parte do treinamento, a rede neural está aprendendo as operações de pré-processamento que a imagem requer, bem como as etapas de extração de características. Uma camada que será convolucionada com a sua entrada é chamada de camada de convolução e tipicamente tem múltiplos filtros de convolução, os quais são convolidos em canais paralelos para que vários filtros possam ser aprendidos no mesmo nível da rede.

Em comparação com outras estruturas de redes neurais, as redes neurais convolucionais possuem muito menos parâmetros a um tamanho comparável. Isso ocorre porque a arquitetura convolucional remove várias conexões entre as camadas em comparação a uma rede neural totalmente conectada. Redes convolucionais também utilizam partilha de parâmetros entre vários neurônios da mesma camada. Por exemplo, supondo que uma imagem é estatisticamente estacionária, ou seja, as suas propriedades estatísticas não alteram drasticamente de um lado para outro, é possível aprender um filtro a

partir de uma parte da imagem e reutilizar o mesmo filtro por toda a imagem. Intuitivamente, se um traço detectado no canto superior esquerdo é importante para o modelo, é provável que um traço semelhante detectado no canto inferior direito signifique a mesma coisa. As técnicas de campos receptivos e partilha de parâmetros contribuem para reduzir o número de parâmetros em uma única camada em até quatro ordens de grandeza, em comparação com uma camada completamente conectada.

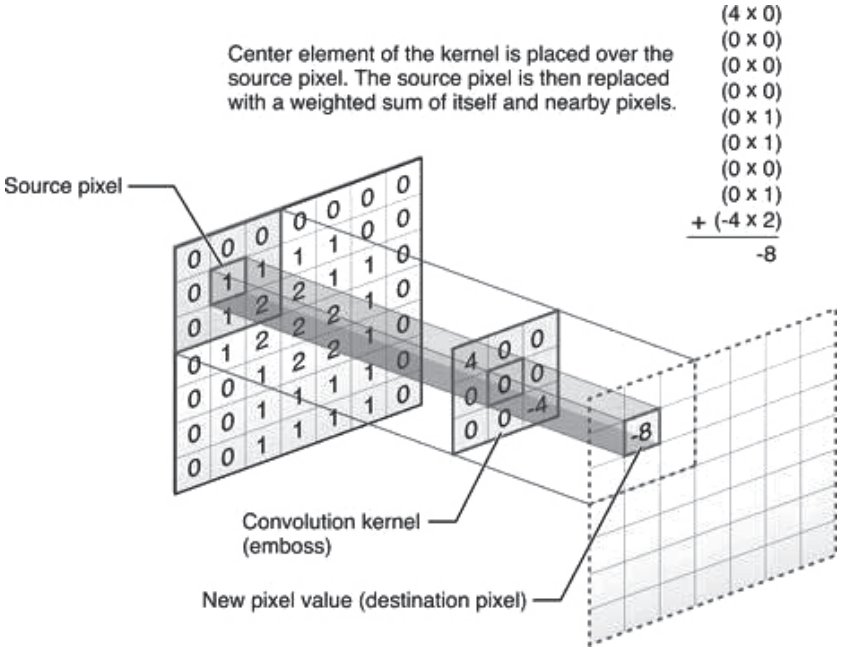


Figura 8 — A operação de convolução.

Fonte: Apple Inc.

Camadas convolucionais são geralmente emparelhadas com camadas ReLU que têm neurônios que usam a função ReLU, (Figura 51). Esta função fornece a não-linearidade necessária na rede sem saturar os campos receptivos.

Pilhas de camadas convolucionais e ReLU são muitas vezes seguidas de camadas *pooling*. A camada *pooling* serve para diminuir a dimensionalidade da saída da camada anterior. Esta camada recebe como entrada pequenos blocos retangulares — definido pelo tamanho da sua janela — e os reduz para produzir apenas uma saída de cada bloco. Esse tipo de camada reduz a complexidade da rede nas camadas sucessivas, o que impede superajuste (*overfitting*) e também fornece invariância de translação para a rede.

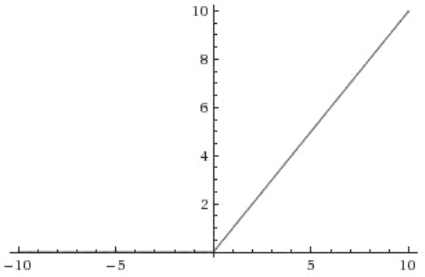


Figura 9 — A função ReLU.

Fonte: http://cs231n.github.io/neural-networks-1/

Depois de algumas camadas convolucionais, ReLU e de *pooling*, a parte superior da maioria das redes neurais convolucionais está totalmente conectada (TC). A porção TC destas redes é muito propensa a superajuste (*overfitting*) e, portanto, camadas de *dropout* são adicionadas entre as camadas FC para evitar superajuste. Os neurônios em uma camada de *dropout* nem sempre fornecem uma saída para os neurônios da camada seguinte, ou seja, eles ficam de fora, com uma certa probabilidade que é um hiper-parâmetro definido no momento da concepção da rede.

A última camada na maioria das redes convolucionais, chamada frequentemente de camada de perda, é essencialmente um classificador. Camadas de perda baseadas em SVM e Softmax (Hastie *et al* (2005)) são usadas na literatura. Deve-se notar aqui que o

classificador é treinado usando o mesmo algoritmo de treino que o resto da rede.

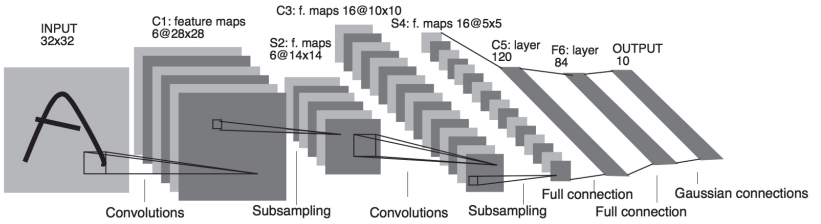


Figura 10 — Uma representação da estrutura da rede LeNet-5.

Fonte: LeCun e colaboradores (1998).

A Figura 10 mostra como essas camadas estão conectadas entre si para formar uma rede completa.

O primeiro sucesso da RNC, o LeNet-5 (Figura 10), foi descrito por LeCun et al. (1998) para identificar texto escrito em imagens. Melhorando essa estrutura, aumentando a largura das camadas e adicionando camadas mais convolucionais sem adicionar o mesmo número de camadas pooling, Krizhevsky, Sutskever e GE Hinton (2012) construiram o AlexNet, que ganhou a competicão de IMAGEnet ILSVRC em 2012, sendo capaz de identificar objetos e criaturas em imagens com sucesso. Zeiler e Fergus (2014) melhoraram esta estrutura ainda mais através da expansão das camadas do meio e ganharam o ILSVRC 2013, chamando a sua rede de ZFNet. Em 2014, Szegedy e colaboradores (2015) projetaram uma rede no Google chamado GoogleNet a qual ganhou o ILSVRC naquele ano. A principal conquista dessa rede foi a redução dos parâmetros de 60 milhões do AlexNet para menos de 4 milhões. O vice-campeão desta competição foi o VGGNet desenvolvido por Simonyan e Zisserman (2015). O VGGNet foi a rede mais profunda daquela competição, totalizando 19 camadas com parâmetros e quase nenhum hiper-parâmetro escolhido pelo designer do modelo. Apesar do desempenho menor na tarefa específica da competição (diferença inferior a 1%), esta estrutura foi aplicada

muito bem nas várias tarefas de classificação de imagens e superou o GoogleNet nestas tarefas de aprendizagem de transferência. Uma grande desvantagem desta estrutura é que, devido à sua natureza extremamente profunda, ela tem um grande número de parâmetros — a rede mencionada aqui tem 60 milhões de parâmetros.

TREINAMENTO DA REDE

Enquanto muitos algoritmos para treinamento de redes neurais foram pesquisados no passado, o *Backpropagation* até hoje continua sendo o vencedor devido à sua simplicidade e ampla aplicabilidade. Redes profundas como o VGGNet têm usado com sucesso o *Backpropagation* para o treinamento. O *Backpropagation*, assim como outros algoritmos de treinamento, converte o problema de treinamento para um problema de otimização, onde as variáveis são os parâmetros do modelo e a função objetivo é uma função de erro a ser minimizada. Este problema de otimização é então resolvido usando um algoritmo de otimização como o *Gradient Descent*.

INICIALIZACÃO

Assim como qualquer otimização não-linear, é importante escolher bons valores iniciais para os parâmetros. Os primeiros estudos do algoritmo ignoraram este aspecto e relataram que o algoritmo não funcionava bem. Pesquisas posteriores estabeleceram que a seleção de valores iniciais é um fator crítico no desempenho do algoritmo *Backpropagation* (Pollack (1990) e Lari-Najafi, Nasiruddin, e Samad (1989)). Alguns trabalhos recentes usam pré-treinamento sem supervisão utilizando o algoritmo de treinamento *Restricted Boltzmann Machines* para atingir os valores iniciais antes do *Backpropagation* (ERHAN *et al.*, 2009). Simonyan e Zisserman (2015), cujo trabalho nosso estudo baseou-se principalmente, começou o treinamento com uma rede rasa com inicializações aleatórias tiradas de uma distribuição normal. Após treinar com sucesso a rede rasa, eles usaram os valores dos parâmetros treinados como valores iniciais para a próxima iteração, acrescentando

algumas camadas e tornando progressivamente a rede mais profunda. Repetindo este processo várias vezes, eles alcançaram uma rede de até 19 camadas. No entanto, eles sugerem que o seu procedimento de inicialização não funciona melhor do que o sugerido por Glorot e Bengio (2010), um procedimento muito mais simples do qual não estavam cientes no momento. Este procedimento, desenvolvido originalmente para as funções sigmóide, foi adaptado para as funções ReLU por He e colaboradores (2015). De acordo com os autores, os valores iniciais para cada camada devem ser amostrados a partir de uma distribuição normal com a média igual a zero e um desvio padrão em função do número de neurónios na camada corrente.

APRENDIZAGEM SUPERVISIONADA

Como mencionado acima, algoritmos de aprendizagem supervisionados treinam uma rede neural apresentando entradas juntamente com os resultados esperados. Isto significa que os dados de treinamento precisam ser rotulados, ou seja, a saída esperada precisa ser conhecida para cada conjunto de entradas. Este por sua vez, coloca uma limitação no tamanho do conjunto de dados que pode ser utilizado para o treinamento, porém todos os dados precisam ser marcados por seres humanos — alguns deles exigindo habilidades raras.

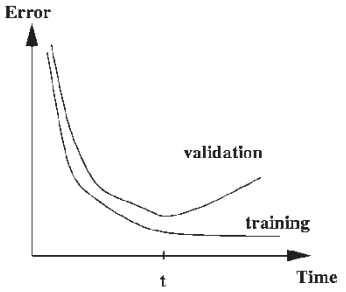


Figura 11 — Representação gráfica do superajuste.

Fonte: http://www.willamette.edu/~gorr/classes/cs449/overfitting.html.

Um problema comum a todos os algoritmos de aprendizagem supervisionada (por redes neurais e outros modelos) é que o algoritmo pode se superajustar aos dados. Já que, na aprendizagem supervisionada, o conjunto de dados usado pelo treinamento representa uma amostra da população real das possíveis entradas, os cuidados devem ser tomados para que as características que a rede está aprendendo representem aquelas da população-alvo e não da própria amostra. Em outras palavras, uma rede superajustada daria taxas de erro muito baixas para as entradas que já foram vistas no treinamento, mas taxas de erro muito elevados para quaisquer entradas que não foram vistas antes. Sendo que o objetivo é capacitar a rede para que ela possa responder bem a novos dados, a prática de divisão treino-teste é usada para atenuar este risco de superajuste. Nesta prática, os dados de treino disponíveis são divididos em um subconjunto de treinamento que é utilizado para a treinamento real e um subconjunto de teste que é então transmitido para a rede neural como dados "novos", comparando o resultado com o resultado esperado que já é conhecido. Isso pode ser estendido para validação cruzada onde este procedimento de divisão de treino-teste é repetido com os mesmos dados, mas com diferentes divisões para resultados ainda melhores.

BACKPROPAGATION

O *Backpropagation* é o algoritmo de aprendizagem supervisionado mais comum para redes neurais. Ele usa o resultado conhecido para calcular a derivada de uma função de perda em relação a todos os pesos das conexões da rede. Este método usa a regra da cadeia para calcular iterativamente gradientes para cada camada. O gradiente é então utilizado pelo método de otimização para atualizar os pesos das conexões, a fim de minimizar a função de perda. O método de otimização geralmente usado em combinação com o *Backpropagation* é *Stochastic Gradient Descent*.

Vários procedimentos de otimização global também são comumente usados para treinamento da rede neural. Isso inclui otimização por

enxame de partículas e Algoritmos Genéticos. Além desses algoritmos de busca meta-heurísticos de base populacional, outros algoritmos foram usados para treinar redes neurais incluindo o *Backpropagation* com o impulso adicional, evolução diferencial, *Levenberg Marquardt*, recozimento simulado etc.

CAMINHOS FUTUROS

No uso de redes neurais, estamos no ponto de que quanto maior o modelo que podemos fazer, melhor os resultados que podemos alcançar. Aumentando o tamanho (ou seja, a profundidade) do modelo podemos realizar novas tarefas que estavam fora do alcance dos modelos de aprendizagem estatística até agora. Entretanto, um modelo mais complexo demora mais tempo no treinamento. O gargalho imediato no procedimento da pesquisa nessa área é o poder computacional. Com computadores cada vez mais potentes, a complexidade dos modelos que podemos treinar irá aumentar e consequentemente a capacidade de aprendizagem também. Logo, no futuro vamos ver máquinas de diagnóstico clínico que funcionam de uma maneira completamente automatizada. Mesmo com um baixo nível de conhecimento, o operador da máquina poderá fazer exames médicos e a própria máquina dará um diagnóstico confiável.

REFERÊNCIAS

AGATONOVIC-KUSTRIN, S.; BERESFORD, R. Basic concepts of artificial neural network (ANN) modeling and its application in pharmaceutical research. **J. Pharm. Biomed. Anal.** , v. 22, n. 5, p. 717-727, 2000.

ARBIB, M. A. **The handbook of brain theory and neural networks**. Cambridge, MA: MIT Press, 2003.

BEHNKE, S. Hierarchical neural networks for image interpretation. In: **Lecture notes in computer science**. v. 2766. Springer Science & Business Media, 2003.

BENGIO, Y et al. Greedy layer-wise training of deep networks. In:**Advances in neural information processing systems 19 (NIPS'06)**. Cambridge, MA: MIT Press, 2007. p. 153-160.

CIRESAN, D. C. et al. Flexible, high performance convolutional neural networks for image classication". **IJCAI Proceedings-International Joint Conference on Articial Intelligence**. v. 22., n. 1, p. 1237, 2011.

CIRESAN, D., MEIER, U.; SCHMIDHUBER, J. Multi-column deep neural networks for image classification. **Computer Vision and Pattern Recognition** (CVPR), 2012 IEEE Conference on, p. 3642-3649, 2012.

CIRESSAN, D. C. et al. Mitosis detection in breast cancer histology images with deep neural networks. In: MEDICAL IMAGE COMPUTING AND COMPUTER-ASSISTED INTERVENTION-MICCAI 2013. Springer, p. 411-418, 2013. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24579167>. Acesso em: 10 fev. 2016.

FUKUSHIMA, K. Neocognitron: a self-organizing neural network model for a mechanism of pattern recognition unaffected by shift in position. **Biological cybernetics**, v. 36, n. 4, p. 193-202, 1980.

HANEDA, S.; YAMASHITA, H. International clinical diabetic retinopathy disease severity scale. **Nihon rinsho. Japanese journal of clinical medicine**, 68, p. 228, 2010.

HASTIE, T. et al. The elements of statistical learning: data mining, inference and prediction. **The Mathematical Intelligencer**, v. 27, n. 2, p.83-85, 2005.

HE, K. et al. **Delving deep into rectiers**: surpassing humanlevel performance on imagenet classication. Microsoft Research, 2015. Disponível em: <http://arxiv.org/pdf/1502.01852.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2016.

HEBB, D. O. **The organization of behavior**: A neuropsychological theory. Psychology Press, 2005.

HINTON, G.; OSINDERO, S.; THE, Y. A fast learning algorithm for deep belief nets. **Neural Computation**. v. 18, n. 7, p. 1527-1554, 2006.

KRIZHEVSKY, A.; SUTSKEVER, I.; HINTON, G. E. Imagenet classification with deep convolutional neural networks. In: Advances in neural information processing systems (NIPS 2012), 25, 2012, Lake Tahoe, Nevada, USA. **Proceedings…** Lake Tahoe, Nevada, USA, 2012. p. 1106-1114. Disponível em: <http://machinelearning.wustl.edu/mlpapers/paper_files/NIPS2012_0534.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2016.

LECUN, Y. et al. Gradient-based learning applied to document recognition. **Proceedings of the IEEE**, v. 86, n. 11, 1998, p. 2278-2324.

MINSKY, M.; PAPERT, S. **Perceptrons**: an introduction to computational geometry. Cambridge, MA: MIT Press, 1988.

MCCULLOCH,W. S.; PITTS, W. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. English. **The bulletin of mathematical biophysics**, v. 5, n. 4, p. 115-133, 1943.

NATIONAL INSTITUTES OF HEALH. National Eye Institute. **Facts about diabetic eye disease**. set. 2015. Disponível em: <https://nei.nih.gov/health/diabetic/retinopathy>. Acesso em: 07 set. 2015.

THE COLLEGE OF OPTOMETRISTS . **Ophthalmoscopes Part 1**. 2015?. Disponível em: <http://www.college-optometrists.org/en/college/museyeum/online_exhibitions/optical_instruments/ophthalmoscopes>. Acesso em: 29 jul. 2015.

RANZATO, M. A. et al. Efficient learning of sparse representations with an energy-based model. In: Advances in neural information processing systems, 19., 2006, Vancouver, D.C., Canada. **Procee-**

dings… Vancouver, D.C., Canada: Yatt Regency Vancouver, 2006. p. 1137-1144. Disponível em: <http://machinelearning.wustl.edu/mlpapers/paper_files/NIPS2006_804.pdf. Acesso em: 10 mar. 2016.

SIMARD, P. Y., STEINKRAUS, D.; PLATT, J. C. Best practices for convolutional neural networks applied to visual document analysis. In: **IEEE**, p. 958, ago. 2003.

SIMONYAN, K.; ZISSERMAN, A. Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. In: ICLR, 2015. **Proceedings…** Disponível em: <http://arxiv.org/pdf/1409.1556v6.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2016.

SZEGEDY, C. et al. Going deeper with convolutions. **Computer Vision and Pattern Recognition**, Computer Vision Foundation, p. 1-9, set. 2015.

VON NEUMANN, J.; KURZWEIL, R. **The computer and the brain**. 3. ed. London: Yale University Press, 2012.

WEEMS, A.; HARDING, M.; CHOI, A. Classification of the ECG signal using artificial neural network. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT TECHNOLOGIES AND ENGINEERING SYSTEMS (ICITES 2014), 3., v. 345, 2016. **Proceedings…** Springer International Publishing, 2016. p. 545-555.

ZEILER, M. D.; FERGUS, R.Visualizing and understanding convolutional networks. In: Computer Vision ECCV 2014, 2014. **Proceedings…** Springer International Publishing, 2014. p. 818-833.

Capítulo XI

RADIOLOGIA DIGITAL: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS E ASPECTOS DE CONTROLE DE QUALIDADE NA LEGISLAÇÃO NACIONAL

Wilson Otto G. Batista

RADIOLOGIA DIGITAL: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS E ASPECTOS DE CONTROLE DE QUALIDADE NA LEGISLAÇÃO NACIONAL

No Brasil, cabe ao Ministério da Saúde e à Agencia Nacional de Vigilância Sanitária legislar sobre controle de qualidade em radiologia diagnóstica. A legislação traz diretrizes, conceitos, tolerâncias e níveis de intervenção baseados na experiência nacional e internacional na matéria em questão. As sociedades profissionais e cientificas são normalmente convocadas para opinar e auxiliar a elaboração do texto. A participação de representantes destas sociedades tem o objetivo de elaborar um texto final atualizado e em consonância com experiências bem sucedidas já implementadas em outras nações. Contudo nos parece que estas iniciativas não têm produzido resultados satisfatórios, pois toda nossa legislação encontra-se desatualizada e sempre apresenta equívocos em tolerância e frequência de alguns itens ou omissão de item de fundamental importância para a avaliação qualidade da imagem diagnostica.

INTRODUÇÃO

A tecnologia digital na radiologia tem avançado amplamente com desenvolvimentos essencialmente nos receptores de imagem e *software* de apresentação e gerenciamento de informações. No Brasil, essa inserção tem ocorrido na última década, como alternativa ao sistema convencional, analógico, combinação tela-filme.

Na atualidade, podemos dividir a apresentação da imagem radiológica na forma digital em dois grupos: a radiografia computadorizada, *CR*, e a radiografia digital direta, *DR*. O termo radiografia aqui significa qualquer forma ou modalidade de imagem radiológica apresentada de forma digital.

A tecnologia CR teve seu início na década de 1970 com desenvolvimentos ocorridos em paralelo através de duas tradicionais empresas no ramo da produção e desenvolvimentos de filmes radiográficos, a *Eastman Kodak Co.* (LUCKEY, 1975), e a *Fuji Photo Film Co.*, Ltda. (KOTERA, EGUCHI, *et al.*, 1980), com a proposta do uso, como fósforo receptor de imagem, do cristal $BaO.xAl_2O_3:Eu$, onde x satisfaz a condição $0{,}8 \leq x \leq 10$. Este fósforo proposto pela Fuji era estimulado termicamente. Atualmente todos os fosforo são estimulados opticamente.

A tecnologia DR surge, na história da radiologia, com os painéis de selênio amorfo (a-Se) no ano de 1987, seguido do acoplamento de dispositivos de carga acoplada (CCD) com câmeras de vídeo. Em 1995, foi introduzido na radiologia o uso dos painéis planos de silício amorfo com cintilador a base de iodeto de césio (*a- Si/CsI*) (YAFFE e ROWLANDS, 1997). Na atualidade, os painéis planos de *a-Si/CsI* se consolidaram para técnicas de radiografia geral e os painéis de *a-Se* estão consolidados na mamografia (YAFFE; ROWLANDS, 1997).

No Brasil, convivemos com esses desenvolvimentos tecnológicos sendo introduzidos como alternativa ao receptor de imagem baseado no filme radiográfico, sem existência de legislação específica estabelecendo critérios de avaliação e regulamentação do uso dessas novas tecnologias (BRASIL, 1951; BRASIL, 1950).

Em 1998, após a introdução dos receptores digitais na radiologia, a Secretaria Vigilância Sanitária (SVS), órgão do Ministério da Saúde (MS), publicou a Portaria SVS MS 453/1998 — Diretrizes básicas de proteção radiológica em radiodiagnóstico médico e odontológico (BRASIL, 1998), constituindo um marco na legislação nacional sobre o tema. Essa portaria estabelece as diretrizes básicas de proteção radiológica e apresenta um protocolo mínimo de controle de qualidade para radiologia médica e odontológica. Desde 1998 até a presente data, muitos esforços foram realizados com o intuito de implantar, revisar e atualizar essa portaria.

Organismos internacionais como a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) contribuem com o financiamento de projetos e comitês que propõem a elaboração de protocolos de controle de qualidade e treinamentos nos países membros. A ideia central da elaboração desses protocolos é que possam ser implantados em cada país através de legislação nacional e que essas leis sejam um reflexo do protocolo acordado.

No final do ano 2001, foi publicado o documento *Protocolo de Control de Calidad en Radiodiagnóstico*, fruto do projeto Acordo Regional de Cooperação para a Promoção da Ciência e Tecnologia Nucleares na América Latina e Caribe (ARCAL) XLIX, financiado pela AIEA (ARCAL/IAEA, 2001). Esse documento apresenta um protocolo prático de controle de qualidade em radiologia diagnóstica contemplando as diversas áreas do diagnóstico com radiação ionizante.

Nos anos subsequentes, três outros relevantes documentos foram publicados pela AIEA. Em 2006 e 2007, a AIEA apresentou dois importantes documentos IAEA-TECDOC-1517 *Control de Calidad en Mamorafia* (ARCAL/OIEA, 2006) e o TRS 457 — *Code of Practice on Dosimetry in. Diagnostic Radiology* (IAEA, 2007). Este último uniformiza a linguagem, padroniza as formas de obtenção das medidas e introduz nova simbologia. Em 2009, foi publicado o *HHS#2 — Quality Assurance Programme for Screen Film Mammography* (IAEA, 2009). E, finalmente em 2011, o documento *HHS#17 — Quality Assurance Programme for Digital Mammography* (IAEA, 2011), é apresentado, à comunidade internacional.

No final de 2013, o Brasil apresentou o Programa Nacional de Qualidade em Mamografia (PNQM) com o propósito de ser um marco fundamental na política e na prática do controle de qualidade em mamografia. Esse programa encontra-se instituído no País através da portaria ministerial GM/MS 2898/2013 (BRASIL, 2013).

O Brasil é signatário de todos os documentos da AIEA e em particular dos documentos elaborados através do projeto ARCAL, pois o País normalmente indica um representante técnico com a respon-

sabilidade de participar da elaboração dos protocolos e recomendações. Quase sempre os representantes nacionais nesses grupos são membros da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) autoridade reguladora nacional para área nuclear o qual não legisla ou não atua no campo do diagnóstico médico e odontológico, pois esse campo é de responsabilidade do Ministério da Saúde.

Mesmo diante dos inúmeros esforços a legislação nacional segue carente de atualização. Nesse contexto, o objetivo central dessa análise é comparar o estado atual da tecnologia já estabelecida na radiologia brasileira e comparar os requisitos de controle de qualidade nacionais e internacionais. Como objetivo específico, traça um comparativo entre os requisitos constantes nos documentos do projeto ARCAL e da AIEA com aqueles exigidos nas portarias SVS MS 453/1998 (BRASIL, 1998) e GM/MS 2898/2013 (BRASIL, 2013).

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS E DEFINIÇÕES

A imagem digital

Teoricamente, todas as imagens obtidas na radiologia com o uso de raios-x são imagens por transmissão. Nesse conceito, as imagens são geradas através da quantificação da transmissão dos fótons de raios x através das diferentes variações e composição do objeto a ser radiografado.

Na imagem analógica, a informação da transmissão é apresentada através dos diversos tons de cinza sobre o filme revelado. Na imagem digital, as informações da transmissão através das diferentes estruturas são representadas por um conjunto numérico. A Figura 1 apresenta o esquema geral da aquisição de imagem radiográfica e um perfil de transmissão (YAFFE; ROWLANDS, 1997).

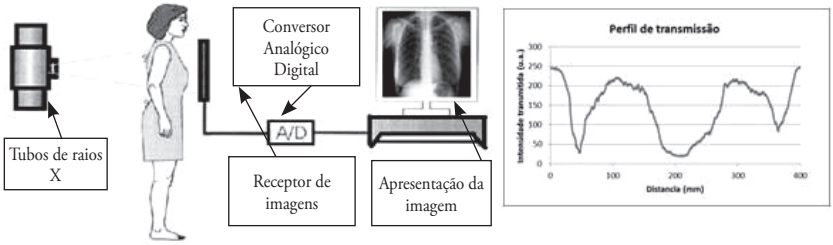


Figura 1 — Esquema da aquisição de imagem radiográfica e um exemplo de perfil de transmissão pelas diferentes estruturas ao longo da linha vermelha.

Fonte: Adaptada de Yaffe e Rowlands (1997).

A informação básica e inicial é um sinal elétrico em termos de quantidade de cargas coletadas e a posição onde foi gerada esta carga elétrica. Sendo assim, uma informação analógica. No conversor analógico digital, essa informação analógica é prontamente convertida em informação digital e assim apresentando uma imagem baseada em sinal digital.

OS SISTEMAS DIGITAIS

Os sistemas digitais atuais podem ser facilmente classificados em dois grandes grupos:

1. Sistemas de Radiografia Computadorizada, CR;
2. Sistemas de Radiografia Digital Direta, DR;

Sendo o grupo da radiografia digital direta subdividida em dois subgrupos:

3. Sistemas de Radiografia Digital Direta com conversão indireta;
4. Sistemas de Radiografia Digital Direta por conversão direta.

No diagrama abaixo, Figura 2, está apresentado de forma resumida e esquemática esta classificação dos sistemas digitais atuais.

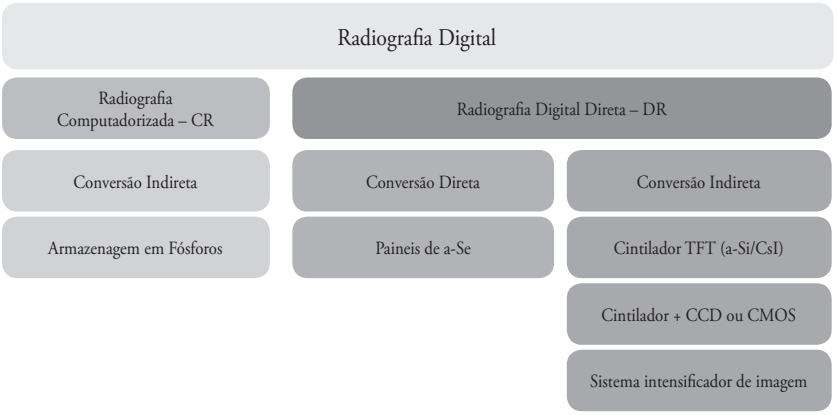


Figura 2 — Classificação da tecnologia e princípio de funcionamento dos receptores de imagem para radiografia digital.

Fonte: Elaborado pelo autor.

CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS DETECTORES

Os detectores, receptores de imagem, para serem utilizados na radiologia necessitam atender a uma combinação equilibrada de características. As características que os receptores de imagem necessitam possuir são:

a) **Características geométricas** — o detector não deve possuir zonas mortas inclusive nas bordas;

b) **Eficiência quântica** — para gerar um sinal, os fótons de raios x necessitam interagir com o material do receptor de imagem. A probabilidade de interação ou eficiência quântica para pacotes de energia, $E = hv$, é dada por: $\eta = 1 - e^{-\mu(E)T}$; onde μ é o coeficiente de atenuação linear e T é a espessura do materia sensível. Como normalmente os feixes de raios x utilizados para aquisição de imagens em radiologia são polienergeticos, espectros com ampla faixa energética, será necessário especificar a eficiencia quantica para cada valor de energia ou especificar eficiencia efetiva. A

eficiência quântica pode ser aumentada, tornando o detector mais espesso ou usando materiais com elevados valores de μ devido ao aumento do número atómico ou densidade. A eficiência quântica será em geral mais alta a baixas energias, diminuindo gradualmente com o aumento da energia. Se o material tem uma aresta de absorção atómica na faixa de energia de interesse, então a eficiência quântica aumenta dramaticamente acima desta energia e apresenta um mínimo local de η para as energias imediatamente abaixo da aresta de absorção (DOBBINS III, 1995);

c) **Sensibilidade —** o resultado final de praticamente todos os detectores de raios-x é um sinal eléctrico, de modo que a sensibilidade pode ser definida em termos da carga produzida pelo detector, (antes de qualquer amplificação externa), pela interação dos fótons de raios-x incidentes. A sensibilidade de qualquer sistema de imagem depende, obviamente de η (YAFFE; ROWLANDS, 1997);

d) **Resolução espacial —** a resolução espacial na imagem radiografica é determinada pelas características do detector e também por fatores que são idependentes do receptor. Os fatores mais importantes não relacionados ao receptor de imagem são as carateristicas geométricas associadas ao feixe de radiação tais como: penumbra e fator de ampliação da imagem no plano do receptor. Detectores para radiografia digital são frequentemente compostos de elementos discretos, geralmente, de tamanho e espaçamento constante. A dimensão da porção ativa de cada elemento detector define uma abertura. A abertura determina a frequência de resposta espacial do detector. E, são estas carateristicas, relacionadas ao detector, que influenciam na resolução espacial. Assim um detector com subdivisoes quadradas e com dimensão d = 50 μm apresenta uma Função de Modulação de Transferencia, MTF, com primeiro zero em 20 ciclos/mm. Também é de grande

importância o intervalo de amostragem, p, do detector, isto é, o passo no detector entre elementos ou zonas sensíveis. O teorema da amostragem afirma que apenas frequências espaciais iguais ou superiores a $(2p)^{-1}$ (a frequência de Nyquist) pode ter informação confiável. Em um detector composto de elementos discretos, o menor intervalo de amostragem numa aquisição é $p = d$, assim a frequencia de Nyquist vale $(2d)^{-1}$ (BENDAT; PIERSOL, 1986);

e) **Ruído —** todas as imagens geradas por pacotes de energia, raios x, são de natureza estatística, isto é, apesar de que o padrão da imagem possa ser previsto pelas propriedades de atenuação do objeto que flutuará aleatoriamente em torno do valor médio previsto. A flutuação da intensidade dos raios X segue a estatística de Poisson, de modo que a variância, σ^2, em torno do número médio. Assim de modo bastante simplificado o ruído pode ser avaliado através do desvio padrão da medida da intensidade registrada na imagem (ARNOLD; SCHEIBE, 1984).

f) **Uniformidade —** é importante que o sistema de imagem radiográfica possa proporcionar uniformidade, isto é, a sensibilidade deve ser constante em toda a área da imagem para um mesmo nível de estimulo. Caso contrário, o sistema de detecção não será capaz de revelar as reais caracteristicas de atenuação do objeto e assim produzirá uma imagem sem utilidade;

g) **Faixa dinâmica —** faixa dinâmica é o intervalo útil de exposições dentro do qual um detector pode produzir imagens com uma qualidade aceitável em amplo intervalo, ou seja, fora das zonas de saturação e de subexposição.

Espera-se de um detector que apresente características geométricas satisfatórias sem presença de zonas mortas ou efeitos de borda: elevada eficiência quântica, sensibilidade, resolução espacial, baixo nível de ruído, boa uniformidade e faixa dinâmica ampla. Além dessas

características, é desejável que o detector tenha custo acessível para ser introduzido em larga escala no mercado.

FÓSFOROS FOTOESTIMULÁVEIS

Provavelmente, os detectores à base de fósforos fotoestimuláveis, constitui a opção de maior inserção em paises em desenvolvimento, para a radiografia digital até o presente momento. Esta modalidade é classificada como Radiografia Computadorizada CR. Os fósforos fotoestimuláveis, também conhecidos como fósforos de armazenamento são estruturas cristalinas usualmente da família *fluor-haleto de bário*, normalmente $BaFBr:EU^{2+}$. Nesta estrutura cristalina os níveis de energéticos do ativador európio determinam as características de emissão de luz. Os mecanismos de absorção de raios x são idênticos aos de fósforos convencionais. Os fósforos fotoestimuláveis utilizados para imagem radiografica diferem dos fósforos convencionais na caracteristica de que o sinal óptico útil não é derivado a partir da luz que é emitida em resposta rápida à radiação incidente, mas sim a partir de emissão subsequente quando elétrons e lacunas são libertados, após estimulação externa, a partir das armadilhas no na estrututura cristalina (TAKAHASHI; KOHDA; MIYAHARA, 1984).

A interacção inicial de raios X com o cristal de fósforo faz com que elétrons sejam excitados, migrem para níveis energéticos que não natuarias. Alguns desses irão produzir luz no fósforo da maneira normal, mas cristal fosforescente é intencionalmente concebido com armadilhas que retem estas cargas por tempos longos. Ao estimular o cristal luz, os elétrons são liberados das armadilhas e retornam aos níveis de mais baixa energia e emitem luz como consequencia da diferença energética dos dois níveis. Esse processo é chamado de luminescência fotoestimulada (HILLEN; SCHIEBEL; ZAENGEL, 1987). Na Figura 3 (a), um esquema simplificado de todo processo de uso dos fósforos de armazenamento é apresentado. E, também na Figura 3 (b), exemplificamos a típica placa de imagem.

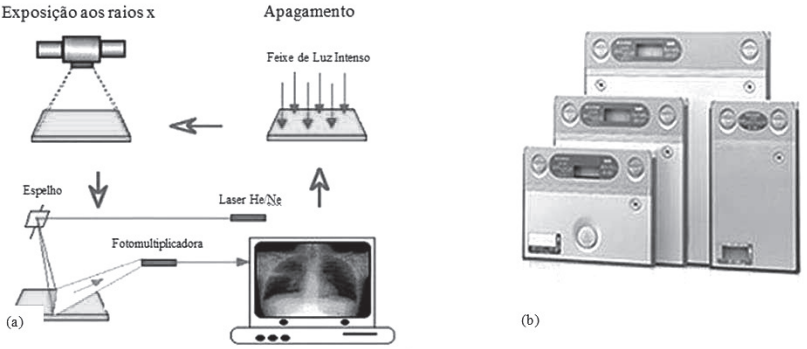


Figura 3 — (a) ciclo completo de utilização dos fósforos de armazenamento e (b) típicas placas de imagem CR.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como pode ser visualizado na Figura 3, todo ciclo de obtenção da imagem possuindo uma fase intermediaria, a imagem latente, até a imagem visivel é semelhante ao processo convencional de obtenção de imagem radiográfica com uso de filme/tela intensificadora e revelação molhada por ataque químico. Aqui a revelação da imagem latente em magem visível se dá atraves de estimulação com luz e todo processo ocorre a seco.

Essa técnica, receptor de imagem, evoluiu ao longo de sua crescente inserção em varios campos tais como: na composição da estrutura cristalina do meio sensivel e no estimulo para remoção da informação latente. Contudo, seguramente a mais importante evolução se deu na concepção estrutural do cristal. Uma das grandes desvantagens do uso desses fósforos de armazenagem era baixa resolução espacial. Nos dias atuais o arranjo cristalino é estruturado em forma de agulhas, Figura 4 (b), substituindo o arranjo anterior de grãos cúbicos distribuídos aleatoriamente, Figura 4 (a). A Figura 4 (a) e 4 (b) apresenta o arranjo cristalino cúbico e o arranjo cristalino atual em forma de agulhas.

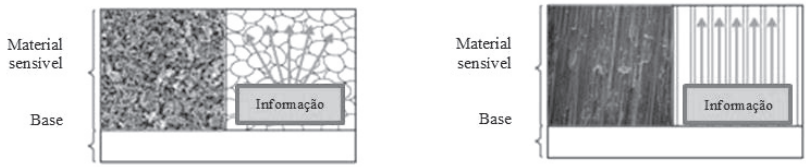


Figura 4 — Estrutura cristalina dos fósforos de armazenamento. (a) cristais cúbicos, (b) cristais estruturados em forma de agulhas.

Fonte: Adaptada de Bushong (2010).

Nos grãos cúbicos, a informação primária, gerada a partir da interação dos raios x com o meio sensível, é alargada, Figura 4 (a), reduzindo assim a resolução espacial.

PAINEL PLANO COM FÓSFORO CINTILADOR

Os detectores que funcionam com a combinação de fóforo cintilador acoplado a um meio semicondutor são classificados com sistemas de radiografia digital direta de conversão indireta. O mais comum é a combinação de um fósforo cintilador e um painel de silicio amorfo, a-Si. As primeiras iniciativas utlizavam o cintilador a base de oxido de gadolinio, Gd_2O_2S. Na atualidade, o cintilador que se estabeleceu foi o iodeto de césio dopado com talio, *CsI:Tl*. O princípio de funcionamento de um detector de silício amorfo é mostrado esquematicamente na Figura 5. As unidades discretas, *pixels*, do detector são configurados como fotodiodos responsáveis pela conversão do sinal óptico do fósforo, *CsI*, em sinal elétrico e armazenar esta carga elétrica em um capacitor (CHABBAL , 1996). Esses dispositivos apresentam baixo ruído e ampla faixa dinamica. Contudo, tais disposivos apresentam a desvantagem de necessitar de meio cintilador para converter a energia depositada pelos raios x em sinal de luz e a luz, ser o agente físico responsável pela interação com os fotodiodos. Desse modo, apresentando a caraterística indesejável de passos prévios e consequente redução na resolução espacial. Por

essa razão, a opção atual de utilizar como cristal cintilador o *CsI:Tl* pois, esse permite sua obtenção na forma estruturada em forma de agulhas. A Figura 6 apresenta dois típicos sistemas de painel plano à base de a-Si disponíveis no mercado.

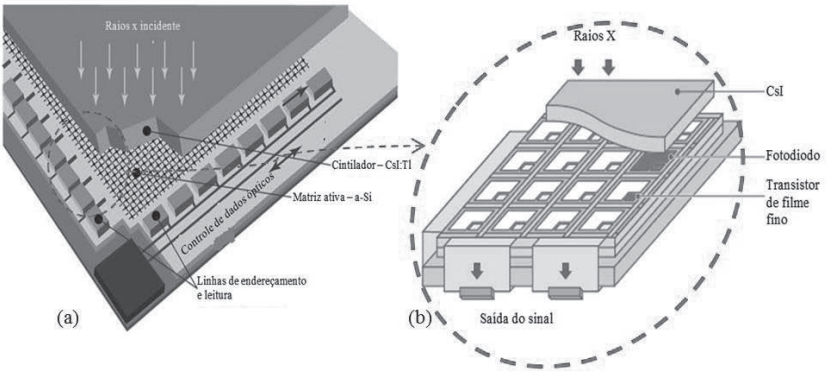


Figura 5 (a) esquema do acoplamento CsI/a-Si para formar um painel plano de detecção. (b) detalhe da unidade de detecção.

Fonte: Adaptada de http://clinicalgate.com/wp-content/uploads/2015/06/F000053f005-001-9780323086448.jpg.

Figura 6 — Exemplos de painéis planos de detecção a base de a-Si. Estes dois sistemas comerciais são portáteis e se assemelham aos cassetes convencionais.

Fonte: Adaptada de http://www.carestream.com/drmain.html.

SISTEMAS ELECTROSTÁTICOS DE ESTADO SÓLIDO

Os sistemas eletrostáticos de estado sólido para detecção de raios X são de conversão direta diferenciando-se dos sistemas que utilizam fósforo cintilador. Em radiologia, é utilizado o fotocondutor de selenio amorfo, a-Se. Existem várias vantagens na utilização de sistemas eletrostáticos de estado sólido, tal como selénio amorfo, a-Se, ou de semicondutores, monocristais de silício de alta pureza, em vez de fósforos. A base da maioria dos sistemas de imagens médicas por raios X é uma camada de fósforo ou "tela" como apresentado na Figura 5. Conforme discutido no tópico anterior a conversão indireta implica em problemas associados difusão da luz, fenomeno que é indesejável para obtenção de imagens com elevada resolução espacial. Os sistemas à base de a-Se não apresentam essa limitação, e, por isso, é preferível em relação aos sistemas digitais a base CsI/a-Si. Contudo, devido ao elevado custo na atualidade encontra-se inserido apenas na mamografia como ilustrado nas figuras 7 e 8. Também outra modalidade de imagem não requer elevada resolução espacial, justificando por hora não haver grandes esforços para sua incorporação em todas as modalidades de imagens por raios x.

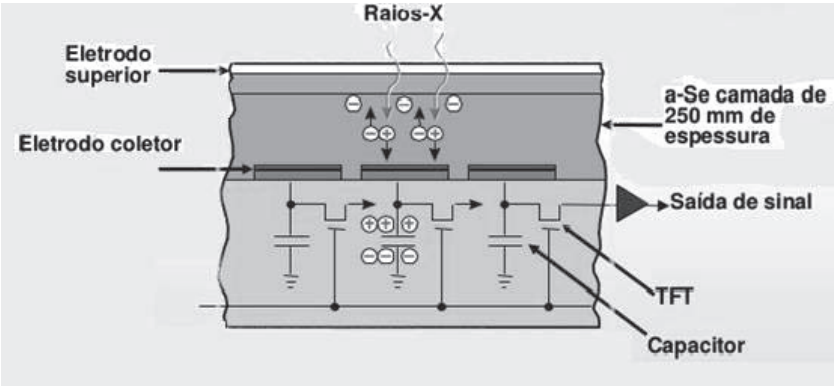


Figura 7 — Esquema simplificado do princípio de funcionamento de painel plano de conversão direta a base de selênio amorfo, a-Se. Adaptado de (BUSHONG, 2010).

Fonte: Adaptada de Bushong (2010).

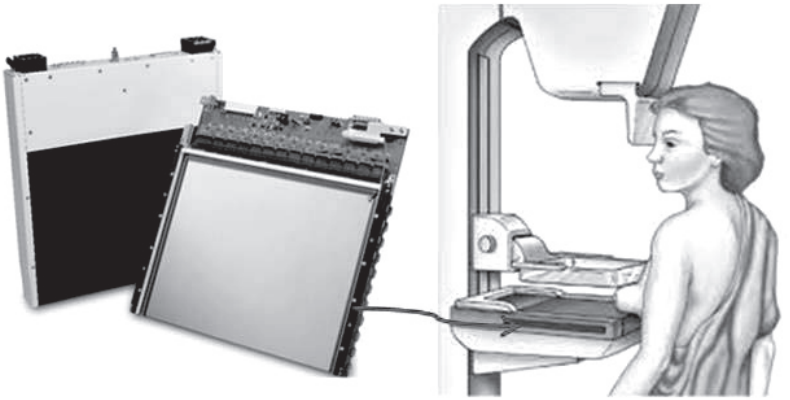


Figura 8 — Painel de conversão direta à base de a-Se integrado ao equipamento.

Fonte: Adaptado de www.cancer.org.

MATERIAIS E MÉTODOS

Realizamos uma análise cuidadosa nos documentos ARCAL/IAEA (2001), ARCAL/OIEA (2006), IAEA (2009), IAEA (2011), Portaria SVS MS 453/1998 (BRASIL, 1998), e Portaria GM/MS 2898/2013 (BRASIL, 2013) e optamos por comparar parâmetros e/ou dispositivos críticos que são independentes da tecnologia adotada no gerador de radiação e/ou no sistema de recepção de imagem. A independência da tecnologia adotada no receptor de imagem todos os parâmetros a serem analisados impactam no resultado final em termos de qualidade da imagem.

OS PARÂMETROS SELECIONADOS

Selecionamos para efetuar a análise comparativa os seguintes parâmetros constantes nos protocolos e legislações de controle de qualidade. No Quadro 1, apresentamos os parâmetros a serem comparados.

Quadro 1 — Parâmetros utilizados na análise comparativa e a respectiva modalidade da radiologia.

Item	RX convencional	Mamografia	Radiologia Odontológica
Rendimento do tubo	X	X	X
Controle Automático de Exposição	X	X	
Dose de entrada na pele	X	X	
Dose Glandular Média		X	
Qualidade da Imagem em Mamografia		X	
Camada semi-redutora, CSR		X	

Outros aspectos a serem considerados na seleção destes parâmetros foram sua criticidade na técnica radiológica e/ou sua ausência na legislação nacional. Demais parâmetros não constantes na legislação nacional estão apresntados no Quadro 2, e estão essencialmente baseados em documentos da comunidade europeia.

Quadro 2 — Parâmetros de controle de qualidade não constantes na legislação nacional.

Item	RX convencional	Mamografia	Radiologia Odontológica
Resolução espacial	X	X	X
Nível de ruído (RSR)	X	X	
Contraste (RCR)	X	X	X
Uniformidade do detector	X	X	X
Efetividade do ciclo de apagamento em digitalizador CR	X	X	X
Resposta do detector	X	X	X

Legenda: RSR — Razão Sinal Ruído; RCR — Razão Contrate Ruído.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Rendimento do Tubo

A Portaria SVS MS 453/1998 (BRASIL, 1998) estabelece que o valor do rendimento para equipamentos de radiologia convencional deve ser:

> Para uma tensão de tubo de 80 kV, o rendimento de um sistema com gerador trifásico ou multipulso com filtração apropriada deve estar no intervalo de 4,8 a 6,4 mGy / mAminAm^2, e para um gerador monofásico com retificação de onda completa, deve estar entre 2,4 a 4,8 mGy / mAmin.m^2.

O protocolo ARCAL XLIX (ARCAL IAEA, 2001) estabelece os valores de rendimento da seguinte forma:

1. Gerador trifásico ou multipulso: entre 50 e 100 μGy/mAs;
2. Gerador monofásico com retificação de onda completa: entre 25 e 60 μGy/mAs.

Ambos os valores medidos a 1 metro do foco. Convertendo esses valores para a unidade utilizada na Portaria SVS MS 453/98 correspondem a 3 a 6 mGy/mA.min para geradores trifásicos ou multipulsos e 1,5 a 3,6 mGy/mA.min. para geradores monofásico com retificação de onda completa. Aqui já notamos diferenças nos limites. O valor rendimento elevado é seguramente é muito importante para minimizar borramento na imagem por movimento do paciente e também para atender lei de reciprocidade na resposta dos filmes radiográficos. Contudo, em equipamentos que possuem filtração elevada ou permitem combinações de filtros, a exigência de um valor de rendimento muito elevado pode conduzir a uma constatação de "Não Conformidade" quando em verdade o equipamento é adequado para uso de do ponto de vista técnico e também por normas internacionais que já se encontram atualizadas para as novas tecnologias.

Para mamografia, a nossa portaria não estabelece valor para o rendimento. É fato que em modernos mamógrafos esta omissão não

se constitui em uma falha grave, pois em perfeito funcionamento, normalmente todos atendem aos requisitos estabelecidos nas normas mais restritivas. Contudo, a omissão não pode ser "perdoada", pois não estamos em uma realidade onde só possuímos modernos e sofisticados equipamentos de mamografia. Também, outro fato, que justifica a necessidade de estabelecimento de valor mínimo de rendimento para mamógrafos reside na qualificação e comprometimento dos profissionais de manutenção destes equipamentos.

O protocolo ARCAL XLIX estabelece o seguinte critério para o rendimento: o valor do rendimento deve atender as especificações do fabricante. O protocolo espanhol de controle de qualidade em radiodiagnóstico (SEFM, 2011) estabelece que o valor do rendimento deva ser maior que 30 μGy/mAs.m^2 Esse mesmo valor é recomendado também pelo documento HHS#2 — *Quality Assurance Programme for Screen Film Mammography* da AIEA (IAEA, 2009).

Para o parâmetro rendimento é importante destacar as seguintes questões:

1. O valor elevado exigido em nossa legislação não é importante para a discussão relacionada à radiologia digital;
2. Seguramente o intervalo previsto no protocolo espanhol e recomendações europeias satisfazem plenamente as necessidades para obtençao de imagem com qualidade diagnóstica;
3. Especificamente para radiologia convencional e algumas técnicas de radiologia odontológica o importante é a qualidade do feixe que independente do valor do rendimento tem dependência da forma de retificação da alta tensão no gerador.

O legislador nacional deveria se procupar com requisitos relativos à retificação e não a um valor associado ao rendimento, pois, em geral os fósforos de armazenamento e os fósforos cintiladores respondem de modo diferente do ponto de vista energético do feixe, Figura 9, em comparação as telas intensificadoras convencionais.

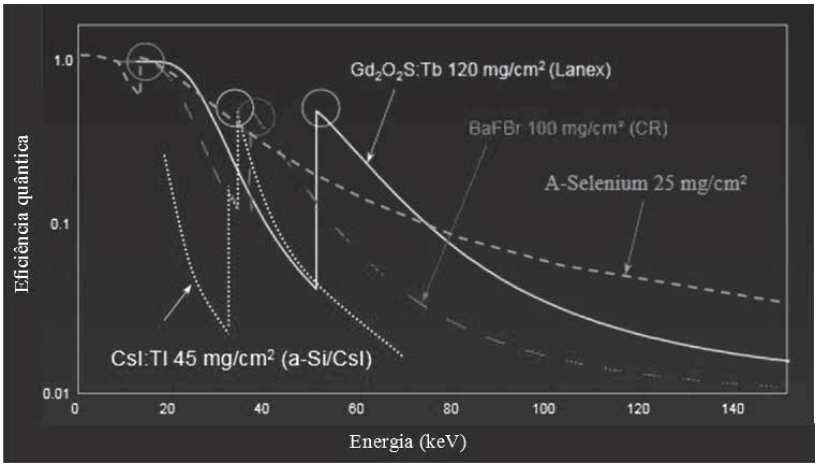


Figura 9 — Eficiência quântica e aresta, *k-edge*, de absorção fotoelétrica para diferentes fósforos.

Fonte: https://rpop.iaea.org/-DR-L01.

A partir da Figura 9, pode-se aferir que a técnica radiológica e o que o espectro energético é fundamental e deve ser adequado a cada receptor de imagem.

CONTROLE AUTOMÁTICO DE EXPOSIÇÃO

Este sistema é responsável por controlar de forma independente do operador do equipamento os parâmetros de exposição necessários a produzir imagens "iguais" de objetos "iguais". Ou seja, a manutenção do valor do kerma incidente no receptor de imagem, independente do objeto a ser radiografado.

Nossa legislação exige somente a avaliação da reprodutibilidade do controle automático de exposição. Contudo, o protocolo ARCAL XLIX, o documento HHS#2 — *Quality Assurance Programme for Screen Film Mammography* da AIEA e o HHS#17 — *Quality Assurance Programme for Digital Mammography* (IAEA, 2011) indicam a importância de avaliar também o desempenho do controle automá-

tico de exposição para radiologia convencional e mamografia. Entendemos que para mamografia é de fundamental importância.

O CAE ganha uma importância fundamental nas técnicas digitais por conta da ampla faixa dinâmica dos receptores digitais. Como podemos observar na Figura 10 (a), uma técnica radiográfica inadequada conduz a subexposição ou superexposição e, assim exigindo do operador, decisões corretas e a prática da boa técnica radiográfica. Já para técnica radiográfica com uso de receptores digitais pode-se variar em até 32 vezes os fator de exposição, produto corrente tempo, (*mAs*), e a imagem continuará satisfatória para o diagnóstico.

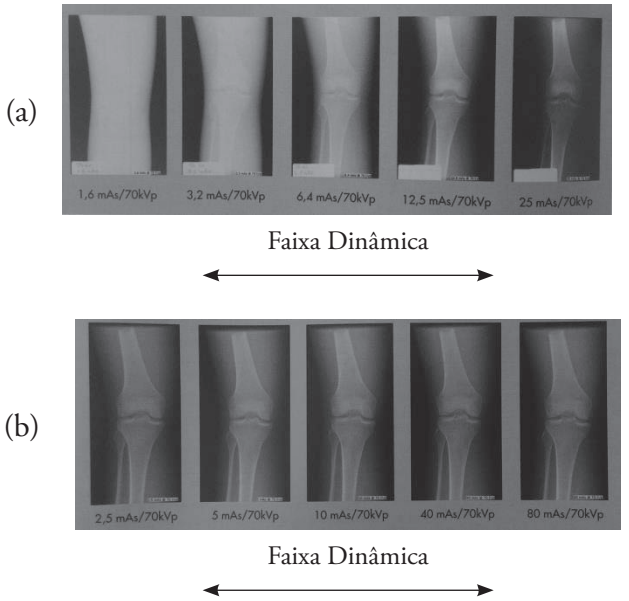


Figura 10 — Imagens radiográficas a 70 kV e variados valores de mAs. (a) imagens adquiridas com combinação tela-filme, receptor convencional; (b) imagens adquiridas com receptor digital a 70 kV e mAs variando de 2,5 mAs até 80 mAs.

Fonte: Adaptada de Bushong (2010).

DOSE DE ENTRADA NA PELE E DOSE GLANDULAR MÉDIA

O primeiro destes dois parâmetros encontra-se definido na legislação nacional (BRASIL, 1998), para ser aplicado como nível de referencia em diagnóstico para técnicas de radiologia convencional. Contudo, carrega um equívoco conceitual, pois da forma como está definido e nossa legislação (BRASIL, 1998), a grandeza a ser medida é o kerma incidente na superfície de entrada K_i, conforme definido TRS#457 da Agencia Internacional de Energia Atômica (IAEA, 2007) o qual o Brasil é signatário.

A Dose Glandular Média, D_G, é a grandeza utilizada como nível de referência em diagnóstico para mamografia nossa legislação ainda exige a "Dose na Entrada da Pele" também para mamografia (BRASIL, 1998). Documentos da AIEA e da Comunidade Europeia exigem que as avaliações dosimétricas em mamografia sejam baseadas na D_G. Tecnicamente, as avaliações dosimétricas em mamografia realizadas no Brasil podem ser efetuadas em termos de D_G e assim comparar as recomendações mais atuais. Contudo, legalmente devem ser expressas em termos da "Dose na Entrada da Pele" ou corretamente em termos de *kerma incidente na superfície de entrada*. O valor de K_i=10 mGy para mamografia serve muito bem para combinação de anodo/filtro típica e usual nos equipamentos de mamografia convencional *Mo/Mo*, conduzindo a valores de D_G adequados quando comparados com as recomendações internacionais (IAEA, 2011; IAEA, 2007; SEFM, 2011). Contudo, para outras combinações pode ser extremamente elevado.

QUALIDADE DA IMAGEM EM MAMOGRAFIA

A qualidade final da imagem em mamografia deve ser entendida como o processo integral inclusive das condições de interpretação da mesma e, isso depende de vários parâmetros incluindo fatores associados à geração de radiação; condições mecânicas; características do receptor de imagem e condições de interpretação, ou seja,

de visualização da imagem. Os parâmetros associados à geração de raios X estão previstos em nossa legislação (BRASIL, 1998; BRASIL, 2013). São parâmetros que possuem periodicidade de avaliação definidas claramente de acordo com sua especificidade ou criticidade e normalmente são realizados por profissionais qualificados e com instrumentação apropriada. Considerando que a qualidade final da imagem em mamografia é crítica e ao longo da consolidação da técnica foram desenvolvidos simuladores para avaliação da qualidade sob o ponto de vista clínico e local pelo próprio interpretador da imagem, ou seja, o médico radiologista. O mais conhecido e simples objeto simulador é o simulador padrão Colégio Americano de Radiologia *ACR*, Figura 11.

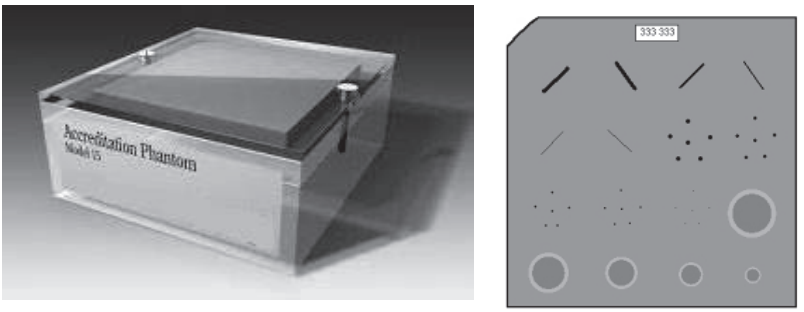


Figura 11 — Simulador para avaliação da qualidade da imagem mamográfica padrão ACR e sua imagem radiográfica.

Fonte: http://www.cirsinc.com/file/Products/015/015%20DS%20092214.pdf.

O simulador padrão ACR consta minimamente de cinco grupos de microcalcificações; seis fibras e cinco massas tumorais. Em nossa legislação, assim como nas recomendações internacionais, devemos visualizar ao menos: uma fibra de 0,75 mm, uma microcalcificação de 0,32 mm e uma massa de 0,75 mm.

A Portaria SVS MS 453/1998 (BRASIL, 1998) exige que uma avaliação mensal seja realizada para esta avaliação. O ideal seria que esta avaliação fosse realizada semanalmente conforme protocolo espanhol e recomendação da AIEA (SEFM, 2011; IAEA, 2011). Em 2013, a

publicação da portaria GM/MS 2898/2013 atualiza o Programa Nacional de Qualidade em Mamografia (BRASIL, 2013). Nessa portaria, o Ministério da Saúde poderia ter instituído a periodicidade semanal da avaliação da qualidade da imagem em mamografia e seu consequente assentamento. Essa avaliação é global e para o operador e médico radiologista revela as condições gerais de todo o sistema, inclusive as condições interpretações, Figura 11. Contudo, a portaria GM/MS 2898/2013 atualizou o Programa Nacional de Qualidade em Mamografia, através da revogação da portaria que institui esse programa, a portaria GM/MS 531/2012 que exigia a necessidade de uso de monitores específicos para interpretação de imagens adquiridas com tecnologia digital.

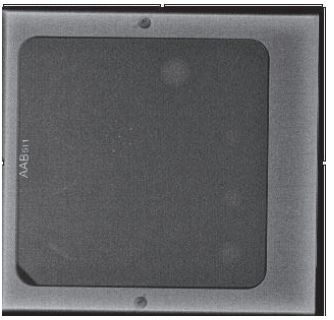


Figura 12 — Imagem real do simulador padrão Colégio Americano de Radiologia (ACR).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Isso implica no uso de impressoras e negatoscópios como meios intermediários a leitura das imagens, desprezando assim algumas das vantagens da imagem digital. Outra vez perde-se a oportunidade de atualizar nossas exigências voltadas para as técnicas digitais, pelo menos para a mamografia.

CAMADA SEMI-REDUTORA, CSR

Camada semi-redutora é a espessura de material absorvedor que atenua a intensidade do feixe a metade. Normalmente expressa em termos de milímetros de alumínio, é uma forma de caracterizar o feixe do ponto de vista enérgico, ou seja, especificar a qualidade do feixe.

Na técnica de Radiografia Computadorizada (CR), é comum o aproveitamento de equipamentos que foram concebidos exclusivamente para receptores convencionais e que apresentam valores de camada semi-redutora mínima para atendimento a legislação. Outra vez voltamos à argumentação que o importante não é essencialmente o atendimento a legislação e sim atender as especificações e necessidades técnicas do receptor de imagem.

Em mamografia e em radiologia odontológica, a CSR não se constitui em um problema, pois, no primeiro caso normalmente as exigências para os receptores digitais tipo CR são as mesmas da combinação tela/filme e para radiologia odontológica os equipamentos que utilizam receptores digitais, normalmente, foram concebidos especialmente para essa tecnologia.

RESOLUÇÃO ESPACIAL, NÍVEL DE RUÍDO, RAZÃO CONTRASTE RUÍDO, UNIFORMIDADE E RESPOSTA DO DETECTOR

Todos estes itens são importantes na avaliação da imagem digital e não estão presentes na legislação nacional (BRASIL, 1998; BRASIL, 2013), obviamente, por conta dessa legislação não contemplar e/ou não considerar as tecnologias digitais presentes na prática da radiologia. Poderia também ser instituído para todo territorial nacional a obrigatoriedade da distribuição, por parte dos fabricantes e/ou fornecedores, de simuladores e ferramentais computacionais para verificação desses itens. De maneira geral, todos os fabricantes possuem essas ferramentas. Em mamografia, já existe a obrigatoriedade da distribuição de simulador minimamente padrão ACR como parte integrante dos mamógrafos.

EFETIVIDADE DO CICLO DE APAGAMENTO EM DIGITALIZADOR CR

O uso de detectores à base de fósforos fotestimuláveis, seguramente, foi um passo no desenvolvimento tecnológico e científico que teve seu início no período da guerra fria, quando as potências mundiais buscavam uma alternativa ao uso de filmes sensíveis aos raios x para aquisição de imagens médicas, pois num suposto conflito nuclear, os filmes causariam grande custo operacional para sua proteção frente às radiações ionizantes. Esses detectores apresentam um custo inicial de implantação muito mais reduzido que a opção da radiologia digital direta. Assim é importante reconhecer sua importância e papel desempenhado na historia da radiologia. Contudo, o cuidado no manejo com essa tecnologia associada principalmente a equipamentos antigos é crítico e deve-se dispensar especial atenção ao processo como todo: aquisição da imagem, condições gerais das placas de imagem, digitalização, impressão e apagamento da placa de imagem para o próximo uso. Nesse sentido, é importante avaliar conforme as recomendações do fabricante quanto ao procedimento e periodicidade dessa verificação.

A Figura 13 exemplifica, especificamente para mamografia, os problemas associados a não conformidade da função apagamento em digitalizadores CR. As três imagens apresentam imagens residuais, ou seja, a retenção de vestígios da imagem anterior após o apagamento.

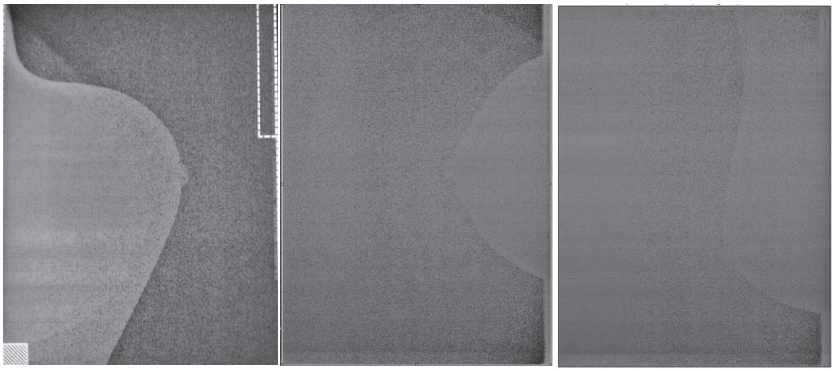


Figura 13 — Presença de imagens residuais após o ciclo de apagamento em digitalizador CR para mamografia.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A presença de imagens residuais também pode ocorrer em detectores digitais diretos. Contudo, é mais comum em sistemas de radiografia computadorizada e pode ser reflexo de uma conjunção de dois fatores: sistema de apagamento e deterioração da placa.

CONCLUSÃO

É notório que, em termos de tecnologia digital, a legislação nacional encontra-se completamente defasada e omissa. Sendo necessário, por parte do legislador, consulta e convocação dos especialistas para elaboração e/ou atualização das normas nacionais para contemplar a tecnologia digital na radiologia. Também, é necessário o envolvimento e/ou manifestação dos colégios profissionais de físicos especialistas e médicos radiologistas no sentido de contribuir para que nossa legislação reflita o nível tecnológico já incorporado às práticas radiológicas no Brasil.

Conclui-se que é necessário o desprendimento urgente de esforços para atualizar nossa legislação, garantindo qualidade da imagem digital com segurança técnica e legal.

REFERÊNCIAS

ACORDO REGIONAL DE COOPERAÇÃO PARA A PROMOÇÃO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA NUCLEARES NA AMÉRICA LATINA E CARIBE / INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY — ARCAL /IAEA. **Protocolos de control de-calidad en radiodiagnostico**. [S.l.]. Revisão 1. 2001. Disponível em: <https://pt.scribd.com/doc/52363123/PROTOCOLOS-ARCAL-XLIX>. Acesso em: 10 mar. 2016.

ACORDO REGIONAL DE COOPERAÇÃO PARA A PROMOÇÃO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA NUCLEARES NA AMÉRICA LATINA E CARIBE / ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGIA ATOMICA — ARCAL/OIEA. **Control de calidad en mamografía** — IAEA-TECDOC-1517. Viena: IAEA, 2006.

ARNOLD, B.; SCHEIBE, P. O. Noise analysis of a digital radiography system. **Am. J. Radiol**., v. 142, n. 3, p. 609–13, 1984.

BENDAT J S., J. S.; PIERSOL, A. G. **Random data analysis and measurement techniques**. 2. ed. New York: Wiley, 1986.

BRASIL. **Lei nº 1.234, de 14 de novembro de 1950**. Presidência da República. Rio de Janeiro, 1950. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1950-1969/L1234.htm>. Acesso em: 10 mar. 2016.

BRASIL. **Decreto nº 29.155, de 17 de janeiro de 1951**. Regulamenta a Lei nº 1.234, de 14 de novembro de 1950. Rio de Janeiro, 1951. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1950-1969/D29155.htm>. Acesso em: 10 mar. 2016.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 453, de 01 de junho de 1998. Diretrizes básicas de proteção radiológica em radiodiagnóstico médico e odontológico. Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância Sanitária. **Diário Oficial da União**, Brasília, 01 jun. 1998. Disponível em: <http://www.phymed.com.br/fisica-medica/site/textos/portaria453.PDF>. Acesso em: 10 mar. 2016.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2.898, de 28 de novembro de 2013. Atualiza o Programa Nacional de Qualidade em Mamografia (PNQM). **Diário Oficial da União**, Brasília, 28 nov. 2013. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2013/prt2898_28_11_2013.html>. Acesso em: 10 mar. 2016.

BUSHONG, S. C. **Ciência radiológica para tecnólogos**: física, biologia e proteção. 9. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Brasil, 2010.

CHABBAL , J. et al. Amorphous silicon x-ray sensor. **Proc SPIE**., 2708, p. 499–510, 1996.

DOBBINS III, J. T. Effects of undersampling on the proper interpretation of modulation transfer function, noise power spectra, and noise equivalent quanta of digital imaging systems. **Med. Phys.**, v. 22, p. 171–181, 1995.

HILLEN, W.; SCHIEBEL , U.; ZAENGEL, T. Imaging performance of a digital storage phosphor system. **Med. Phys.**, v. 14, n. 5, p. 745–751, set.-out. 1987.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY — IAEA. **Code of practice on dosimetry in diagnostic radiology**. Viena: International Atomic Energy Agency, 2007.

http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1498_web.pdf de 2011

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY — IAEA. **Quality assurance programme for screen film mammography**. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2009. (IAEA Human Health Series, n. 2)

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY — IAEA. **Quality assurance programme for digital mammography**. Viena: International Atomic Energy Agency, 2011. (IAEA Human Health Series, n. 17)

KOTERA, N. et al. **Method and apparatus for recording and reproducing a radiation image**. US 4239968 A, 16 dez. 1980.

LUCKEY, G. W. **Apparatus and method for producing images corresponding to patterns of high-energy radiation**. US 3859527 A, 2 jan. 1973, 7 jan. 1975.

SEFM. **Protocolo español de control de calidad en radiodiagnóstico**: aspectos técnicos. Madri, 2011. p. 297.

TAKAHASHI , K.; KOHDA, K.; MIYAHARA, J. Mechanism of photostimulated luminescence in BaFX : Eu2+(X =Cl, Br). J. Lumin., v. 31-2, p. 266, 1984.

YAFFE, M. J.; ROWLANDS, J. A. X-ray detectors for digital radiography. **Physics in Medicine and Biology**, v. 42, n. 1, p. 1-39, 1997.

TUE 12:30 PM
PLATFORM
OPD
Medical diagnosis
MEDICAL
Differential diagnosis
MEDICAL

Dos autores

Alberto Monteiro Peixoto 27

Mestre em Biofísica pela Universidade Federal de Pernambuco (2001), e bacharel em Fisioterapia pela Universidade Federal de Pernambuco (1998). É doutorando em Modelagem Computacional pela Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC e graduando no Curso de Sistema de Informação pela Estácio de Sá (2010). Tem experiência na área de Biofísica, Eletrotermofototerapia, e mais recentemente em Gestão de Projetos de Tecnologia da Informação. Foi professor no CESMAC e na FAL/AL, na disciplina de Eletroterapia e Biofísica. Atualmente, é professor da Universidade Estadual de Ciências da Saúde de Alagoas — UNCISAL. É membro do Grupo de Pesquisa Ticase.

Andrea Cassia Peixoto Bitencourt 47

Mestre em Mecatrônica pela Universidade Federal da Bahia (2009), e Licenciada em Matemática pela Universidade Estadual de Feira de Santana (2004). Atualmente, é professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia. Tem experiência na área de Robótica e Automação, atuando principalmente nos seguintes temas: inteligência artificial, modelagem, simulação e controle de processos.

Anne Caroline Santos 17

Bacharel em Fisioterapia pela Universidade Tiradentes (2015) com Formação em Pilates (2015). Têm experiência na área de Fisioterapia e Terapia Ocupacional, com ênfase em Fisioterapia. Foi integrante voluntária do grupo de pesquisa em Eletroestimulação (LAPERF) na Fundação de Beneficência Hospital Cirurgia, durante 18 meses. Foi membro da Comissão Própria de Avaliação (CPA) na Universidade Tiradentes. Tem experiência em atendimento domiciliar e consultório na área de Fisioterapia Pediátrica e Neonatal, Ortopedia, Neurofuncional e Geriatria.

Betina Soares Batalha 65

Técnica em Automação e Controle Industrial pelo Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Bahia (2014), está em curso a sua graduação em Arquitetura e Urbanismo na Universidade Federal da Bahia.

Carlos Alberto Orge Pinheiro 147

Doutorando e Mestre em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial pela Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC. É graduado em Administração de Empresas pela Universidade Salvador (1992), com especialização em Auditoria Econômica e Financeira pela Universidade Gama Filho (1994). É professor da Universidade do Estado da Bahia — UNEB e do Centro Integrado de Manufatura e Tecnologia SENAI CIMATEC. Desenvolve pesquisa em otimização de portfólios, através da média-variância, média-semivariância e média-assimetria-variância.

Carlos César Ribeiro Santos 89

Bolsista de Extensão no País do CNPq — Nível A do Programa de Cooperação SEBRAE/CNPq: ALI (Agentes Locais de Inovação). Doutorando em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial pela Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC, Mestre em Administração Estratégica, MBA em Administração e Bacharel em Administração de Empresas pela Universidade Salvador — UNIFACS. Coordenador dos Cursos Superiores de Tecnologia em Logística, Processos Gerenciais e Gestão da Produção Industrial e do MBA Executivo em Logística e Gestão da Produção da Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC (BA). Atua também como docente em cursos de pós-graduação *lato sensu* e para concursos públicos.

Charles Soares 185

Mestrando em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial pela Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC, Especialista em Docência no Ensino Superior: Saberes e Práticas no Ensino Presencial e EAD pelo Centro Universitário Jorge Amado

— UNIJORGE (2011), Especialista em Redes de Computadores e Telecomunicações pela Universidade de Salvador Bahia — UNIFACS (2009), possui graduação em Formação Pedagógica para Formadores da Educação através da Universidade do Sul de Santa Catarina — UNISUL (2008) e graduação em Administração com Gestão em Sistema da Informação pela Faculdade de Artes, Ciências e Tecnologias — FACET (2006). Professor titular — Cisco Certified Network Associate — CCNA, Microsoft Certified Desktop Support Technician — MCDST, IT Essentials: PC Hardware and Software, Cabeamento Estruturado, Suporte a Hardware e Redes de Computadores — SENAI — Departamento Regional da Bahia (2004-2010). Coordenador dos Cursos de Bacharelado em Sistemas de Informação, Tecnológicos em Análise e Desenvolvimento de Sistemas e Redes de Computadores, professor das disciplinas Projetos de Redes, Protocolos de Comunicação — TCP/IP, Projeto Integrador, Redes de Computadores e Tecnologia de Servidores no Centro Universitário Jorge Amado — UNIJORGE.

Cláudia Ribeiro Santos Lopes 89

Doutora em Difusão do Conhecimento pelo Programa Multiinstitucional e Multidisciplinar em Difusão do Conhecimento (2014), Mestre em Ciências da Computação pela Universidade Federal de Pernambuco (2003), e Bacharel em Ciências Contábeis pela Faculdade de Ciências Contábeis de Jequié (1994). Atualmente, é professora da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), Campus de Jequié, Bahia. Tem experiência na área de computação aplicada na educação e saúde, com ênfase em análise cognitiva e difusão do conhecimento: informação, comunicação, gestão e representações sociais, atuando principalmente nos seguintes temas: análise cognitiva de representações sociais, informática aplicada, software livre, realidade virtual, gestão do conhecimento, sistemas de informação e informática na saúde.

Claudio Reynaldo Barbosa de Souza 65

Doutor em Difusão do Conhecimento pela Universidade Federal da Bahia (2012), com pós-doutorado em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial pela Faculdade de Tecnologia

SENAI CIMATEC (2013), Mestre em Pedagogia Profissional pelo Instituto Superior Para La Educacion Tecnica e Profesional Hecto Alfredo Pineda Zaldivar / Cuba (2001). Especialista em Educação Tecnológica, Licenciado em Eletrônica pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (1992). É professor titular e pesquisador do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, atuando nas áreas educação técnica profissional, tecnologia em Saúde, Sistemas Locais de Produção.

Gil Jader Oliveira da Silva 167

Mestre em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial pela Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC. Especialista em Engenharia de Software pela Universidade Salvador — UNIFACS. Atualmente, é professor do curso de graduação tecnológica e Analista de Suporte Sênior da Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC.

Hernane Borges de Barros Pereira 89, 117

Doutor em Engenharia Multimídia pela Universitat Politècnica de Catalunya (2002). Atualmente, é Professor Pleno do Departamento de Educação da Universidade do Estado da Bahia — UNEB e Professor Associado da Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC. É docente do Programa de Pós-graduação em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial e do Doutorado Multi-institucional e Multidisciplinar em Difusão do Conhecimento. É consultor ad-hoc do Ministério da Educação. Dentro do âmbito da ciência e tecnologia da informação e inovação, trabalha com temas como: redes sociais e complexas, difusão do conhecimento, engenharia de *software*, interação homem-computador, etc. usando técnicas de modelagem computacional.

Hugo Antonio Nunes Silva 65

Mestre em Pedagogia Profissional pelo Instituto Superior Pedagógico de Havana — Cuba (2001), e Licenciado em Eletrônica pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (1992). Atualmente, é professor do Instituto Federal de Educa-

ção Ciência e Tecnologia da Bahia. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Automação Eletrônica de Processos Elétricos e Industriais e transdutores e sensores biomédicos. Desenvolve pesquisa na área de tecnologia aplicada à saúde pelo Núcleo de Tecnologia em Saúde do Instituto Federal da Bahia (IFBA), em convênio com a Secretaria de Saúde do Estado da Bahia e a Fundação José da Silveira.

Jocelma Almeida Rios 1, 9

Doutora em Difusão do Conhecimento pela Universidade Federal da Bahia (2013), Mestre em Redes de Computadores (2007), Especialista em Projeto de Desenvolvimento de Aplicações (2001), Bacharel em Ciência da Computação com ênfase em Análise de Sistemas pela Universidade Salvador — UNIFACS (1996), e Licenciada em Pedagogia pela Faculdade Batista Brasileira — FBB (2011). É pesquisadora em análise cognitiva, comunidade de prática, construção colaborativa do conhecimento, informática educativa, educação a distância e gestão da educação. É vice-líder do grupo de pesquisa Ticase, e também colabora no grupo de pesquisa Gepio. Tem experiência em Computação, com ênfase em Engenharia de Software, Sistemas de Informação e Gestão do Conhecimento, e em Educação, com ênfase em gestão escolar e tecnologia educacional. Atualmente, é professora de Computação no IFBA, na área de Engenharia de Software.

Joserland Souza Santos 17

Bacharel em Mecatrônica Industrial pela Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC (2013), e Técnico em Eletrônica pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Sergipe (2006) É mestrando em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial pela Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC. Tem experiência na área de Robótica Autônoma, Instrumentação, Automação, Mecatrônica Industrial, Gestão de Projetos e Pessoas.

Justino de Araújo Medeiros 47

Bacharel em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal da Paraíba (1994). Tem experiência na área de Engenharia Elétrica,

com ênfase em Telecomunicação, e em robótica. Professor do Instituto Federal da Bahia.

Leandro Brito Santos 27

Mestre em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial pela Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC (2014), bacharel em Sistemas de Informação pela Estácio de Sá FIB (2007), especialista em Arquitetura de Software e Convergência de Mídias pelo UNIJORGE (2009). Tem experiência na área de redes de computadores, com ênfase em infraestrutura, segurança da informação e virtualização; em arquitetura de software, com ênfase em projetos de software embarcado, usabilidade, aplicativos mobile e Ginga, em ciências da computação, com ênfase em Inteligência Artificial, principalmente nos temas: IA, robótica, e impressora 3D. Atualmente, é doutorando em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial pela Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC e membro do Grupo de Pesquisa Ticase.

Luciano Rebouças de Oliveira 167

Doutor em Engenharia Elétrica e de Computadores pelo Instituto de Sistemas e Robótica da Universidade de Coimbra, Portugal (2010). Atualmente, é professor adjunto no Instituto de Matemática, Depto. de Ciência da Computação e líder do Intelligent Vision Research Lab, na Universidade Federal da Bahia — UFBA. Especialista na área de Visão Computacional, com ênfase em Inteligência de Máquina e Reconhecimento de Padrões, atuando principalmente nas áreas de: detecção de objetos em imagens 2D e 3D, segmentação de imagens, reconhecimento de ações e fusão de dados de sensores.

Marcelo do Vale Cunha 89

Mestre em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial pela Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC (2013), e graduado em Física pela Universidade Federal da Bahia (2009). É doutorando em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial pela Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC. Atualmente, é professor efetivo do Instituto Federal da Bahia — IFBA.

Tem experiência na área de sistemas complexos, com ênfase em modelos computacionais, atuando principalmente nos seguintes temas: instrumentação em física, redes sociais e complexas, redes semânticas; grafos variáveis no tempo; entropia em redes complexas, estudo computacional do movimento e fractais.

Márcio Soussa 185

Doutor em Modelagem Computacional e Tecnologias Industriais pela Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC (2015); Mestre em Modelagem Computacional pelo Centro de Pós-Graduação e Pesquisa Visconde de Cairu (2007); Especialista em Sistemas de Informação com ênfase em Componentes Distribuídos e Web pela Faculdade Ruy Barbosa (2001), Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Católica do Salvador — UCSal (1996) e Graduado em Processamento de Dados pela Universidade Salvador — UNIFACS (1992). Atualmente, professor de graduação do Centro Universitário Unijorge e da Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC. Tem experiência na área de Ciência da Computação e Modelagem Computacional, com ênfase em Sistemas de Computação, atuando principalmente nos seguintes temas: reconhecimento de padrões, mineração de dados, banco de dados, *data warehouse* e programação.

Navjot Kukreja 203

Mestre em Pesquisa Operacional pela *University of Southampton* (2015) e graduado em Engenharia Elétrica pela *Birla Institute of Technology and Science* — Pilani Campus (2009). Tem experiência na área de Tecnologia, com ênfase em Ciência da Computação, atuando principalmente nos seguintes temas: *computer vision*, *medical imaging* e *high performance computing*.

Renata Souza Freitas Dantas Barreto 117

Mestranda em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial (PPGMCTI) pela Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC (2016-Atual). Cursa pós-graduação *lato sensu* em Neuropsicologia em Educação pelo Instituto de Ensino Superior Ocidente (2015-atual). Possui graduação em Educação Física pela União

Metropolitana de Educação e Cultura (2011) e em Pedagogia pela Universidade do Estado da Bahia (2015). Tem experiência na área de Educação, com ênfase em Ego Acadêmico; Teoria de Redes; Desenvolvimento Humano e Capoeira do Autoconhecimento.

Roberto Luiz Souza Monteiro 17, 27

Doutor em Difusão do Conhecimento pela Universidade Federal da Bahia (2012), com pós-doutorado em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial pela Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC (2012), Mestre em Modelagem Computacional pela Fundação Visconde de Cairu (2005), e Licenciado em Administração pela Universidade do Estado da Bahia (1997). Atualmente, é professor da Universidade do Estado da Bahia e da Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC. Tem experiência na área de Informática e Sociedade, com ênfase em ciências sociais aplicadas, ciência da computação, com ênfase em linguagem formais e autômatos e modelagem computacional com ênfase em sistemas complexos, atuando principalmente nos seguintes temas: projeto de compiladores, sistemas embarcados, análise de redes sociais e complexas e inteligência artificial. É membro do Grupo de Pesquisa Ticase.

Tereza Kelly Gomes Carneiro 9, 27, 117

Doutora em Difusão do Conhecimento pela Universidade Federal da Bahia (2014), Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela Universidade Federal de Alagoas (2005), Bacharel em Ciências Econômicas pela Universidade Federal de Alagoas (1997), e Licenciada em Pedagogia pela Faculdade Batista Brasileira (2011). É pesquisadora nas áreas de educação a distância, formação de professores, tecnologia da informação e comunicação, mediação e autoria e gestão pedagógica de cursos. Tem experiência com gestão e construção de sistemas de EAD, produção de material didático, elaboração de cursos e educação profissional. É economista na Universidade Estadual de Ciências da Saúde de Alagoas — UNCISAL e líder do Grupo de Pesquisa Ticase e colaboradora do Grupo de pesquisa GEPIO

Valéria Loureiro da Silva 185

Doutora em Física (1990), Mestre em Física (1986 e graduada em Física (1984) pela Universidade Estadual de Campinas, onde pesquisou a geração de pulsos ultracurtos utilizando efeitos não lineares em fibras ópticas. Tem pós-doutorado no Bellcore, EUA, onde investigou o fenômeno de eco de pulso em fibras dopadas com Érbio e suas aplicações para processamento de sinais ópticos. Investigou também técnicas de equalização de ganho de amplificadores ópticos com fibras dopadas com Érbio. Foi consultora para o AT&T *Bell Laboratories*, também nos EUA, na pesquisa e desenvolvimento de amplificadores ópticos bombeados remotamente para sistemas de transmissão submarinos sem repetidores. Em 1995, começou a trabalhar na *Corning Incorporated*, EUA, inicialmente como pesquisadora na área de dispositivos de fibra óptica e do impacto de fenômenos ópticos não lineares em redes ópticas de alta capacidade. Gerenciou vários grupos de pesquisa, desenvolvimento de produtos e projetos tecnológicos envolvendo sistemas de transmissão WDM (2.5-40 Gbit/s), amplificadores ópticos com fibras dopada com érbio, vidros de sílica fundida ultrapura para sistemas litográficos em 193 nm, novas fibras ópticas e novos sistemas de medidas para caracterização de materiais e dispositivos vítreos e cerâmicos. Desde 2011, é professora adjunta da Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC, onde atua nas áreas de desenvolvimento de novas aplicações de sensores ópticos na indústria e na área de saúde. Valéria recebeu o prêmio *Women of Color Award* na categoria de *Managerial Leadership* em 2001, é *Fellow* da *Optical Society of America* e membro da IEEE.

Valter de Senna 147, 167, 185, 203

Doutor em Pesquisa Operacional (1983), com pós-doutorado em Probabilidade e Estatística (1985) pela University of Southampton, Mestre em Pesquisa Operacional pela University of Southampton (1977), Mestre em Engenharia de Sistemas e Computação pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1974), e Graduado em Matemática pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1970). Atualmente, é Professor Adjunto da Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC e docente do Programa de Pós-graduação em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial. Tem experiência na área de Modelos Matemáticos e

de Pesquisa Operacional, Probabilidade e Estatística Aplicadas, atuando principalmente em mineração de dados, técnicas de classificação e associação, simulação, modelos matemáticos em saúde, fluxos de atendimento em unidades clínicas e hospitalares, políticas de inspeção e controle da qualidade.

Wilson Otto G. Batista 227

Possui graduação em Bacharelado Em Física pela Universidade Federal da Bahia (1989), mestrado em Física pela Universidade Federal da Bahia (1999) e doutorado em Física pela Universidade Federal de Sergipe (2012). Atualmente é pesquisador do Instituto Nacional de Ciência, Inovação e Tecnologia em Saúde, CITECS, Bras e professor adjunto IV do Instituto Federal da Bahia. Tem experiência na área de Física, com ênfase em Radiodiagnostico e Radioterapia, atuando principalmente nos seguintes temas: fisica medica, controle de qualidade em radiodiagnostico, dose efetiva em radiologia odontológica, proteção radiológica e doses em pacientes.

Agradecimentos

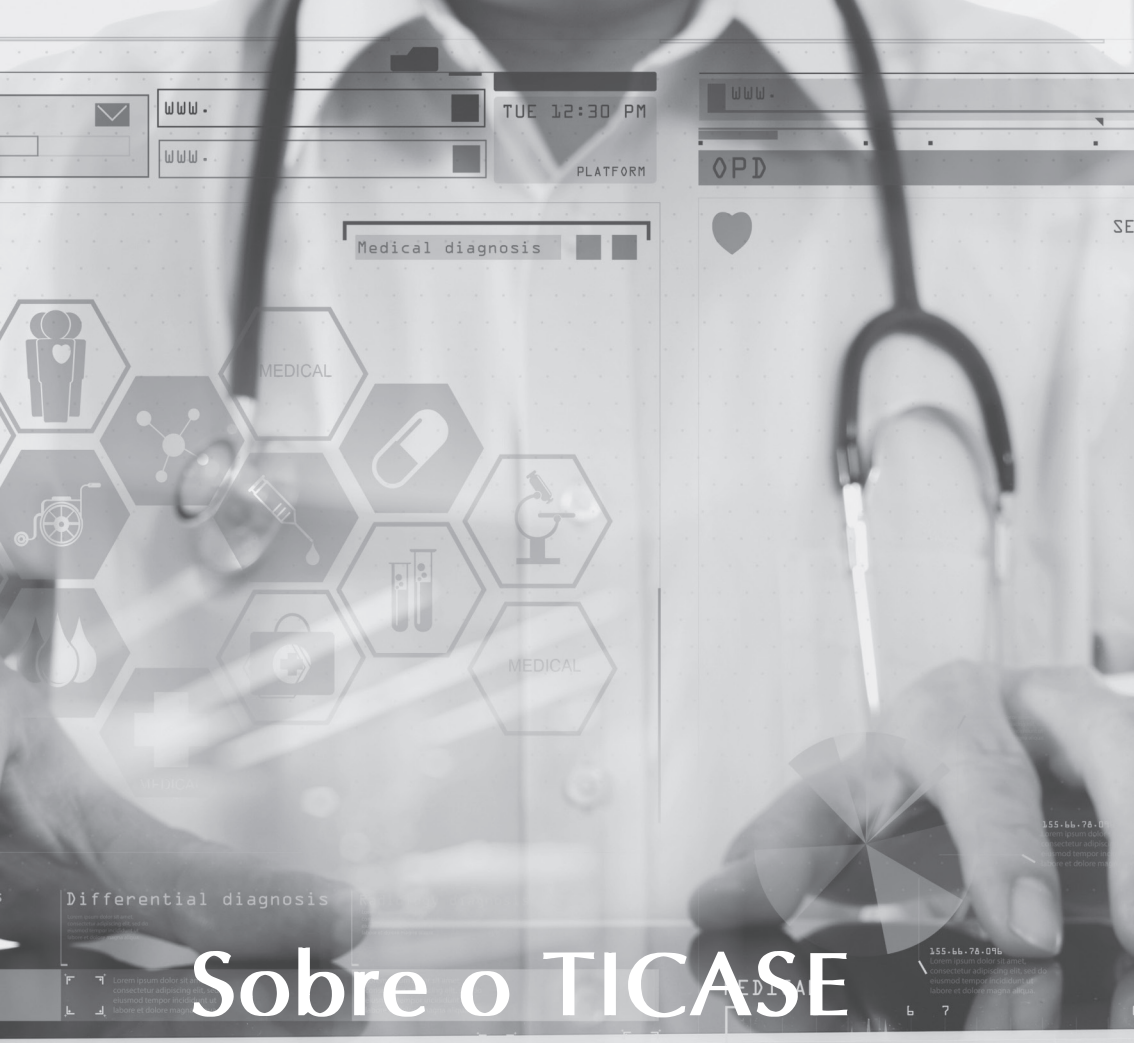
Agradecimentos

Os seminários do Ticase são viabilizados pela existência de instituições que apoiam e incentivam a produção e divulgação de conhecimento científico. Esta obra não seria possível sem o auxílio prestado por essas instituições, visto que os eventos por elas patrocinados foram a base para produção aqui apresentada.

Relacionamos em ordem alfabética os nossos apoiadores nos seminários ocorridos durante o ano de 2015: Caleum Ensino e Inovação, Construtora Moura Doubex, Fapeal, Fika Frio, IFAL, IFBA, LDM Livraria Multicampi, MF Tecnologia da Informação, Sam´s Club, Senai Cimatec, e Uncisal.

Em especial, agradecemos ao IFBA e à Uncisal, pelo apoio fundamental como instituições promotoras dos eventos realizados, e à Fapeal pelo financiamento de parte de nossas ações.

Grupo de Pesquisa Ticase



Sobre o TICASE

SOBRE O TICASE

Fundado em março de 2015, o Grupo de Pesquisa Tecnologia, Informação e Comunicação aplicadas à educação e saúde – TICASE tem sua sede na Universidade Estadual de Ciências da Saúde – UNCISAL, com atuação também no Instituto Federal da Bahia – IFBA e na Faculdade de Tecnologia Senai Cimatec.

O grupo busca criar um espaço de pesquisa voltado ao estudo das tecnologias aplicadas à educação e saúde, como contribuição ao processo de dinamização e difusão da educação a distância.

Seu maior desafio é buscar contribuir para construção do conhecimento nas distintas formas de aprender e ensinar com as tecnologias contemporâneas, numa perspectiva multiprofissional, e interdisciplinar e transdisciplinar.

Para alcançar esse desafio, seu quadro de pesquisadores é composto por profissionais de diferentes áreas de formação e por diferentes instituições de ensino superior públicas e privadas. Inicialmente, os estudos estão sistematizados em duas linhas de pesquisa: Gestão de Tecnologia, Informação e Comunicação aplicadas à educação e saúde e Inovações aplicadas à educação e saúde.

http://ticase.uncisal.edu.br

Impressão e acabamento

egba

EMPRESA GRÁFICA DA BAHIA

Rua Mello Moraes Filho, nº 189, Fazenda Grande do Retiro
CEP: 40.352-000 – Tels.: (71) 3116-2837/2838/2820
Fax: (71) 3116-2902
Salvador-Bahia
E-mail: encomendas@egba.ba.gov.br