

RICARDO MARCIANO DOS SANTOS

**PROPOSIÇÃO DE UM MODELO DE INTERAÇÃO HUMANO-COMPUTADOR
BASEADO EM LÓGICA *FUZZY* PARA AFERIÇÃO DE DADOS BIOFÍSICOS**

RIO DE JANEIRO - RJ
2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM HISTÓRIA DAS CIÊNCIAS E DAS
TÉCNICAS E EPISTEMOLOGIA

RICARDO MARCIANO DOS SANTOS

**PROPOSIÇÃO DE UM MODELO DE INTERAÇÃO HUMANO-COMPUTADOR
BASEADO EM LÓGICA *FUZZY* PARA AFERIÇÃO DE DADOS BIOFÍSICOS**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia.

RIO DE JANEIRO - RJ
2020

CIP - Catalogação na Publicação

M319p Marciano dos Santos, Ricardo
PROPOSIÇÃO DE UM MODELO DE INTERAÇÃO HUMANO
COMPUTADOR BASEADO EM LÓGICA FUZZY PARA AFERIÇÃO DE
DADOS BIOFÍSICOS / Ricardo Marciano dos Santos. --
Rio de Janeiro, 2020.
119 f.

Orientador: Maira Frões.
Coorientador: Alfredo Boente.
Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio
de Janeiro, Decania do Centro de Ciências
Matemáticas e da Natureza, Programa de Pós-Graduação
em História das Ciências e das Técnicas e
Epistemologia, 2020.

1. Lógica fuzzy. 2. Interação humano-computador .
3. Sensores. 4. Robô. 5. Transdutor. I. Frões, Maira
, orient. II. Boente, Alfredo , coorient. III.
Titulo.

RICARDO MARCIANO DOS SANTOS

**PROPOSIÇÃO DE UM MODELO DE INTERAÇÃO HUMANO-COMPUTADOR
BASEADO EM LÓGICA *FUZZY* PARA AFERIÇÃO DE DADOS BIOFÍSICOS**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em História das Ciências, das Técnicas e Epistemologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia.

Aprovado em 07 de maio de 2020

Profa. Dra. Maira Monteiro Fróes, Dsc.

Prof. Alfredo Nazareno Pereira Boente, Dsc.

Profa. Aparecida Maria de Almeida Barros, Dsc

Prof. José Antonio dos Santos Borges, Dsc.

Prof. Ricardo Silva Kubrusly, PhD.

**RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL
2020**

AGRADECIMENTOS

A realização desta tese contou com importantes apoios e incentivos sem os quais não teria tornado uma realidade e aos quais estarei eternamente grato. A todos os familiares que estavam torcendo para que esta importante etapa acontecesse em minha vida. Minha Mãe, irmãos e Tios.

À querida professora Maira Fróes, uma citação cabe perfeitamente para ti. "Ser professor não é só uma questão de possuir um corpo de conhecimentos e capacidade de controle da aula. Isso poderia fazer-se com um computador. Para ser professor é preciso, igualmente, ter capacidade de estabelecer relações humanas com as pessoas a quem se ensina. Aprender é um processo social humano e árduo, o mesmo se pode dizer de ensinar. Ensinar implica, simultaneamente emoções e razão pura". Connell.

Aprendi não apenas contextos acadêmicos, mas acima de tudo, conceitos de mais humanidade, mais humildade, mais paciência e carinho no processo acadêmico. Obrigado por tudo, certamente uma honra ter sido aluno e orientando.

Ao amigo, Professor e coorientador, Alfredo Boente, quero de uma forma imensa, expressar o meu muito obrigado, por tudo. Pela forma amiga e generosa com que sempre me incentivou e ajudou, e pelo estímulo sentido após cada conversa. Seu incentivo e ajuda para cursar o Doutorado foi fundamental para que eu chegasse aqui.

Ao amigo, Vinicius Marques há mais de uma década de amizade e sempre prestando apoio e ajuda. Meus agradecimentos a sua amizade e ensinamentos.

Aos amigos de convivência acadêmica que estão acima da média quando se trata de tecnologia, Francisco André Moreira de Lima e Fernando Neves da Silva, pela disponibilidade em ajudar e apoiar na construção prática desta tese de forma incondicional, ao amigo Johnny Edward Villavicencio Tafur, pelas discussões iniciais sobre a tese.

Ao Professor Eduardo Nazareth Paiva por de alguma forma participar de momentos importantes em minha vida profissional e aceitar fazer parte da banca do primeiro momento de qualificação do doutorado.

Aos colegas da Faeterj-Rio que de alguma forma ou de outra sempre incentivaram esta jornada.

Aos amigos do NEAD-UNIG, pelo companheirismo e sempre na torcida pelo sucesso deste trabalho, em especial a Profa. e amiga, Claudia Ruas, por sua amizade, apoio e incentivo sempre.

Aos Professores Aparecida Maria de Almeida Barros, José Antonio dos Santos Borges e Ricardo Silva Kubrusly, por formarem a banca.

À todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para que fosse possível a realização desta etapa.

RESUMO

SANTOS, Ricardo Marciano dos. **Proposição de um modelo de Interação Humano-Computador baseado em lógica fuzzy para aferição de dados biofísicos**. Orientadores: Maíra Monteiro Fróes e Alfredo Nazareno Pereira Boente. 2020. ? f116. Projeto de Pesquisa de Tese (Doutorado em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

Trata-se de um modelo computacional de interação homem-máquina baseado em lógica *fuzzy* para aferir dados biofísicos. Modelo computacional que simula um transdutor (conversor de uma energia em outro tipo de energia) que gera um relatório visual com base no comportamento das variáveis biofísicas aferidas em seres humanos, a partir do processo de conversão de dados booleanos em variáveis linguísticas através de um algoritmo que envia estes dados para um robô, placa prototipadora arduino que, por sua vez, recebe estes dados e os converte em combinações de cores. Pesquisa experimental utilizando o método descritivo para análise das variáveis independentes e dependentes, do tipo qualitativa. Os resultados esperados são que: os dados apresentem de forma imagética uma representação do comportamento do estado biofísico das variáveis analisadas.

Palavras-chave: Lógica *fuzzy*. Sensor. Interação Humano-Computador. Robô.

ABSTRACT

SANTOS, Ricardo Marciano dos. **Proposition of Human-Computer Interaction model based on fuzzy logic for biophysical data measurement.** Counselors: Maira Monteiro Fróes and Alfredo Boente. 2020. ? f. Thesis Research Project (Doctorate in History of Sciences, Techniques and Epistemology) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

Proposition of a Human-Computer Interaction model based on fuzzy logic for biophysical data measurement

The thesis develops a computational model of man-machine interaction, supported on fuzzy logic, in order to measure biophysical data. This model simulates a transducer (energy converter) that generates a visual report of the biophysical behavior measured in humans. From the conversion of boolean data into linguistic variables, an algorithm sends this data to a robot, an Arduino prototype board, which then converts it to color combinations. The doctoral project combines experimental research with descriptive methodology to analyze independent and dependent qualitative variables. As expected results, the data should visually depict the behavior and state of the analyzed values.

Keywords: Fuzzy logic; Human-Computer Interaction; Robotic; Sensor.

LISTA DE SIGLAS

FIS	Sistemas de Inferência <i>fuzzy</i>
FTP	Protocolo de Transferência de Arquivos.
IHC	Interação Humano-Computador
LF	Lógica <i>fuzzy</i>
LFSs	Sistemas Lógicos Difusos
LVDT	Transformador Diferencial de Variável Linear
RNA	Rede Neural Artificial
UX	Experiência do Usuário
RGB	Sistema de cores aditivas formado pelas iniciais das cores em inglês <i>Red</i> , <i>Green</i> e <i>Blue</i> .

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Exemplo de interface mapa mental	37
Figura 2	Função de pertinência.	45
Figura 3	Funções de associação trapezoidais dos termos linguísticos associados à temperatura.	46
Figura 4	Funções de associação <i>fuzzy</i> não lineares, neste caso, senoidais.	47
Figura 5	Arquitetura <i>fuzzy</i> (representação variável linguística).	48
Figura 6	Sensor de temperatura digital	53
Figura 7	Sensor de frequência de pulsação arterial e seu acoplamento a sistema microcontrolador do tipo Arduino.	60
Figura 8	Sensor de pulsação conectado ao microcontrolador.	63
Figura 9	Módulo Arduino RGB <i>shield</i> .	64
Figura 10	Personagem Rachel e Ashley Too em <i>Black Mirror</i> .	65
Figura 11	Estrutura do Robô em produção por impressora 3D.	66
Figura 12	Estrutura do robô Otto montada.	66
Figura 13	Representação esquemática do robô Otto: estrutura e eletrônica	67
Figura 14	Amostras de 3 mil <i>frames</i> correspondentes ao comportamento das medidas BPM ao longo do tempo de registro, resultantes de processamento do sinal do pletismógrafo (sinal PPG) e que reflete variações do fluxo sanguíneo na extremidade do dedo do experimentador, nas condições de relaxamento (esquerda), exercício físico (centro) e exercício cognitivo (direita).	73
Figura 15	Sinal PPG para o cálculo das taxas de pulsação.	74
Figura 16	Funções de pertinência das medidas de taxa de pulsação (ou frequência cardíaca) aos termos linguísticos	77
Figura 17	Representação triangular dos números fuzzy dos experimentos da tese	81

Figura 18	Página de abertura do sistema transdutor web.	82
Figura 19	Comportamento dos valores a, m e b, que expressam a dimensão <i>fuzzy</i> associada aos valores <i>crisp</i> BPM originais de entrada, obtidos na condição de relaxamento.	84
Figura 20	Visualização em mandala do comportamento dos dados fuzificados e parametrizados para o sistema RGB/HEXA. Situação de relaxamento.	85
Figura 21	Comportamento dos valores a, m, b, que expressam a dimensão <i>fuzzy</i> associada aos valores <i>crisp</i> BPM originais de entrada, obtidos na condição de exercício físico	87
Figura 22	Comportamento dos dados fuzificados e parametrizados para o sistema RGB/HEXA em situação de exercício físico leve.	88
Figura 23	Comportamento dos valores a, m, b, que expressam a dimensão <i>fuzzy</i> associada aos valores <i>crisp</i> BPM originais de entrada, obtidos na condição de exercício	90
Figura 24	Comportamento dos dados fuzificados e parametrizados para o sistema RGB/HEXA em situação de exercício cognitivo.	90
Figura 25	Apresentação de parte do processamento pelo sistema de Transdução WEB (condição de exercício físico leve), correspondente à fase taquicárdica do registro (anéis a meio caminho entre perímetro e centro da mandala de exercício leve	92
Figura 26	Modelagem em SOLIDWORKS (Dassault Systèmes SolidWorks Corporation) da cobertura (acima) e dos elementos estruturais internos do protótipo Coração robótico , em fase de estudo conceitual.	93
Figura 27	Modelagem em SOLIDWORKS (Dassault Systèmes SolidWorks Corporation) da cobertura (acima) e dos elementos estruturais internos do protótipo Coração robótico , em fase de testagem digital da mecatrônica associada	94
Figura 28	Filamento Flexível Transparente	95
Figura 29	Estágio inicial de impressão de elemento estrutural do protótipo	96

utilizando o filamento flexível

Figura 30	Elementos estruturais internos impressos do coração robótico (paredes). Os encaixes para os dispositivos mecatrônicos estão aparentes nas peças.	96
Figura 31	Impressão da cobertura translúcida do coração robótico.	97
Figura 32	Cobertura translúcida do coração robótico.	97
Figura 33	Motor 3-6VDC com caixa de redução e eixo duplo	98
Figura 34	Ponte H L298N (ARDUINO).	99
Figura 35	Mecatrônica robótica montada	100
Figura 36	Primeiros testes do coração robótico	100
Figura 37	Testes do coração robótico.	101
Figura 38	Protótipo completo concluído	101
Figura 39	Esquema geral do modelo IHC proposto	102
Figura 40	Dimensão determinística do processamento de dados efetuado pelo Transdutor Web em nosso sistema IHC.	103
Figura 41	Dimensão <i>fuzzy</i> do processamento de dados efetuado pelo Transdutor Web.	104

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Abordagens lógica clássica e lógica <i>fuzzy</i> .	40
Quadro 2	Lógica <i>fuzzy</i> .	41
Quadro 3	Módulo de fuzificação.	43
Quadro 4	Exemplo de matriz de qualificadores linguísticos para a variável temperatura.	49
Quadro 5	Exemplo de conjunto de regras de base de conhecimento aplicável para sistemas de controle sobre a variável temperatura	50
Quadro 6	Características técnicas e variáveis de controle do sensor.	61
Quadro 7	Tecnologias utilizadas para construção do simulador Transdutor Web.	71
Quadro 8	Tecnologias usadas para a construção do dispositivo robótico	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Amostra das taxas de pulsação, ou batimentos cardíacos, calculadas por processamento das séries temporais sinais PPG, pela rotina Arduino Code V1.2 Walkthrough, associada ao sistema sensor de pulsação. Situação de relaxamento.	74
Tabela 2	Amostra das taxas de pulsação, ou batimentos cardíacos. Situação de exercício físico leve.	75
Tabela 3	Amostra das taxas de pulsação, ou batimentos cardíacos. Situação de exercício cognitivo.	75
Tabela 4	Tabela especialista para fuzificação, elaborada a partir de intervalos de valores normalizados do sensor de pulsação.	77
Tabela 5	Média de fuzificação das medidas experimentais em cada uma das condições de coleta empregadas no estudo.	80
Tabela 6	Correspondências para parametrização dos termos linguísticos na tabela especialista em cores RGB/HEXA	82
Tabela 7	Segmento da tabela de dados extraídos por modelagem na dimensão <i>fuzzy</i> em nosso sistema. Os primeiros oito frames de registro e tratamento pelo Transdutor Web na condição relaxamento.	83
Tabela 8	Segmento da tabela de dados extraídos por modelagem na dimensão <i>fuzzy</i> em nosso sistema. Os primeiros oito frames de registro e tratamento pelo Transdutor Web na condição exercício físico leve.	86
Tabela 9	Segmento da tabela de dados extraídos por modelagem na dimensão <i>fuzzy</i> . Os primeiros oito frames de registro e tratamento pelo Transdutor Web na condição exercício cognitivo.	89

Sumário

1 INTRODUÇÃO.....	16
1.1 RELEVÂNCIA E CARACTERIZAÇÃO DO TEMA DE PESQUISA.....	16
1.2 ORGANIZAÇÃO DA TESE.....	17
1.3 CORPO	18
1.4 COGNIÇÃO	19
1.4.1 Modelagem da cognição.....	22
1.5 INTERFACE HUMANO-COMPUTADOR	34
1.6 LÓGICA FUZZY	38
1.6.1 Implementação.....	43
1.6.2 Funções de associação	45
1.6.3 Desenvolvimento <i>fuzzy</i>	48
1.7 DISPOSITIVOS SENSORES	51
1.8 LÓGICA FUZZY E EMOÇÃO.....	54
1.9 JUSTIFICATIVA.....	56
1.10 OBJETIVOS	57
1.10.1 Objetivos específicos	58
2 METODOLOGIA.....	58
2.1 DISPOSITIVOS.....	60
2.1.1 Pulse Sensor	60
2.1.2 Módulo Arduino/Placa RGB	63
2.1.3 Robô Otto.....	64
2.2 ENSAIOS PARA COLETA DE DADOS	68
2.2.1 Relaxamento	69
2.2.2 Exercício leve	69
2.2.3 Exercício cognitivo.....	70
2.3 PROCESSAMENTO DE DADOS	70
2.4 TECNOLOGIAS DE APOIO	71
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	72
3.1 FUZIFICANDO AS MEDIDAS DO PULSE SENSOR AMPED	72
3.2 TRANSDUTOR WEB	81
3.3 O CORAÇÃO ROBÓTICO.....	93
3.4 MODELO IHC PROPOSTO.....	102

4 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	106
REFERÊNCIAS	109

1 INTRODUÇÃO

1.1 RELEVÂNCIA E CARACTERIZAÇÃO DO TEMA DE PESQUISA

Esta pesquisa aborda a interação humano-computador, tendo como meta o desenvolvimento de propostas de modificações na natureza e na apresentação dos elementos de saída de dispositivos, elementos estes, em geral, de potencial teor informacional (dados), de maneira a otimizá-los para a percepção e cognição humanas. Como veremos, nossa proposta encontra-se desenvolvida em três níveis distintos na interface humano-computacional: tratamento dos dados, recursos de apresentação gráfica e deslocamento dos dados para dispositivos de apresentação.

As mais variadas escolas tecnológicas, das ciências da cognição, à inteligência artificial, vêm revelando dificuldades em traçar equivalências entre a mente, incluindo seus substratos biofísicos, e os computadores, que se estendam para além de aspectos pontuais.

Frente à natureza dinâmica, não linear, que se revela nas imprevisibilidades, nebulosidades, ambiguidades da vivência psíquica cognitiva humana, em evidente correlação com a complexidade da estruturação morfofisiológica e funcional das redes neurais que se integram aos demais sistemas do corpo, as plataformas digitais seguem como esperança de modelagem pelo humano, para o humano, uma vez que provêm alto enredamento perceptual, cognitivo e afetivo-comportamental, oferecendo assim graus de liberdade relevantes para modelagem de sistemas de interação humano-computador.

Pode-se utilizar destes sistemas para fins que cumpram demandas utilitárias, e além, como um laboratório para estudos que pretendam endereçar as bases da relação cognitiva e comportamental do humano com a leitura de dados e, sobretudo, com a informação e suas aplicações, reconhecidos pilares do conhecimento e do controle humano de mundo.

1.2 ORGANIZAÇÃO DA TESE

Desenrola-se em quatro capítulos. O primeiro capítulo apresenta as bases teóricas fundantes da pesquisa e finaliza com sua justificativa e objetivos. As seções teóricas pretendem situar o leitor quanto à natureza das questões aqui abordadas. Representam recortes sintéticos de um acervo contemporâneo virtualmente inesgotável. Foram contemplados aspectos dos sistemas biológicos quando consideradas propriedades biofísicas que condicionam as relações destes sistemas com o meio que integram, especialmente dependentes de seus sistemas sensoriais. Daí apresenta-se os qualificadores gerais da cognição humana que parecem justificar o desenvolvimento de sistemas de processamento de dados apresentados em seguida. Realizou-se uma síntese das bases teóricas e metodológicas da lógica *fuzzy*, suas implicações em estudos de modelagem da cognição humana e finalmente, tratados os aspectos dos sistemas de interação humano-computador que consideradas mais relevantes para o estudo.

A metodologia é o segundo capítulo. Apresenta-se a base de dispositivos, sistemas lógicos e recursos computacionais sobre a qual o sistema de interface humano computacional aqui desenvolvido se assenta.

O terceiro capítulo condensa resultados e discussão. As bases de desenvolvimento da proposta teórico-prática de interface humano computacional são apresentadas de forma progressiva, partindo de adaptação para o universo desta tese, do sistema de processamento *fuzzy*, e que conduz ao sistema Transdutor Web descrito em seguida. Daí, segue para a criação do dispositivo robótico e se encerra com considerações de cunho interdisciplinar sobre a natureza da interface humano computacional aqui proposta.

O quarto e último capítulo tece uma breve condensação dos resultados e sua significância, seguindo-se, também brevemente, aspectos em aberto no estudo e possibilidades de diagnóstico técnico de impacto da proposta de interface humano computacional desenvolvida.

1.3 CORPO

O corpo como um todo é dotado de sensores naturais, i.e., arranjos moleculares organizados como receptores celulares sensíveis a faixas e categorias específicas de mudança de estado intra e extracorpórea, nas dimensões física e química.

Os receptores sensoriais integram um sistema transdutor de processamento de sinais e de atualização de estados cognitivo-comportamentais cujos operadores se distribuem como tecido difuso, representado pelas divisões central e periférica do sistema nervoso.

Encontram-se assim na origem de processamentos biofísicos desencadeados por alterações advindas do ambiente ou do próprio corpo, e que determinam o amplo espectro de relações que o organismo como um todo é capaz de desenvolver com o repertório infinito de acontecimentos aos quais é naturalmente sensível.

Como sistema de monitoramento também das condições internas do organismo, possibilita um balanço intra-e extracorpóreo que contribuiria para calibrar nossas saídas ou respostas comportamentais e seus efeitos sobre o mundo de eventos aos quais somos sensíveis, e que incluem estímulos e respostas geradas pelos próprios artefatos que criamos. Revela-se, assim, a operação de uma ampla e complexa alça sistêmica de interação humano-mundo, humano-artefato sobre a qual podemos interferir.

É importante observar que qualquer mudança de estado biofísico corporal/mental que acompanha alterações em grandezas físicas ou químicas, seja de referência extracorpórea, ou deflagrada pelo próprio sistema biofísico intracorpóreo, só é possível porque o corpo biológico dispõe de sistemas sensoriais que respondem, pelo processamento biofísico perceptual, por transdução de alterações físicas e químicas do ambiente extra e/ou intracorpóreo, às quais o organismo humano é sensível por dependência biológica.

O que é categorizado como estímulo não determina, portanto, o que acontece dentro do corpo, mas sim sua combinação com nossos sistemas

biofísicos de monitoramento de mudanças; as janelas de sensibilidade de nossos receptores sensoriais co-determinam as mudanças de estado corporal. Os estímulos físicos, e/ou químicos, acionam, assim, sistemas corporais complexos de transdução de sinais e de elaboração de respostas, que vão das vivências perceptuais cognitivas às ações, em organismos biológicos em geral, e no humano em particular.

1.4 COGNIÇÃO

Ainda hoje, pesquisas, tanto na neurociência quanto na ciência da cognição, são orientadas por pressupostos mecanicistas, segundo os quais, por exemplo, o amplo entendimento do sistema em níveis moleculares poderia justificar o estabelecimento de comportamentos complexos e a organização de indivíduos em sociedade.

Alternativas a esta visão mecanicista existem, e vêm sobretudo de teorias da complexidade, que admitem, em níveis crescentes de organização, a emergência de propriedades não integralmente explicáveis pela mera associação e estruturação funcional das partes (MORIN, 1992).

O corpo como um todo, e não somente o sistema nervoso, a totalidade da experiência do sujeito e não somente suas propriedades lógicas, vêm cada vez mais se afirmando como instâncias de processamento complexo, integrado e inteligente, processamento este que um organismo, como o humano, realiza em sua relação com o mundo e com ele próprio (DAMASIO, 1994; GALLESE, 2018).

Propriedades cognitivas do organismo, incluindo a criatividade, comportamentos harmonizados com um sentido de autopreservação e sucesso e, finalmente a auto-organização de sociedades e comunidades complexas formadas por organismos do amplo espectro de categorias filogenéticas, seriam exemplos notáveis de nossos recursos de humanidade.

No humano, o grande desafio para as neurociências segue sendo a necessidade de se definir uma natureza essencial, material, dos fenômenos mentais para os quais ainda não temos descritivos materiais. Descritivos lógico matemáticos ou mesmo semântico-narrativos não dão conta de prover às neurociências ou à ciência da cognição a complexidade e os recursos que

reconhecemos se expressam no indivíduo humano, no concernente ao sistema humano-meio.

Novas descobertas sobre o cérebro humano preveem impactos profundos sobre a vida cotidiana: a forma como educamos as crianças, o treinamento de adultos, a forma como tratamos o vício e a doença, como definimos comportamentos criminosos ou como pensamos sobre o indivíduo. Em qualquer perspectiva, seja biológica, filosófica, ética, religiosa, antropológica, educacional, antroposófica entre outras, a neurobiologia contemporânea, incumbida dos estudos científicos no âmbito do sistema nervoso e suas implicações no comportamento humano, vem procurando incessantemente respostas para o seguinte questionamento: o que faz o cérebro humano e como podemos aproveitar melhor os recursos afetivos, cognitivos e comportamentais criticamente definidos por este sistema?

Estudos têm demonstrado que entender o funcionamento do cérebro é bem mais complexo do que se pensava. O comportamento humano vai além de um conjunto de neurônios orquestrando uma resposta sistêmica (COELHO, 2005). Cada organismo é capaz de gerar um número infinito e não reprodutível de comportamentos. Aspectos tão sofisticados da experiência humana como nossos trânsitos emocionais-afetivos, e nossa capacidade criativa vêm se provando assentar-se sobre mudanças de comportamento biofísico em todos os níveis de organização funcional do organismo, sugerindo a necessidade do corpo como um todo para que a experiência física seja transduzida como experiência humana, aquela que vivenciamos em primeira pessoa.

A aplicabilidade da matemática ao amplo repertório de situações dimensionadas pelas ciências naturais, como a física e a biologia, resguardados os limites estabelecidos nos diferentes estudos, é tão considerável quanto inegável.

Os Teoremas da Incompletude de Kurt Gödel (1906-1978), no entanto, no início do século XX, demonstrariam que a matemática, sobretudo quando considerados os pressupostos da lógica aristotélica, ampliados pelas apostas numa ciência matemática representadas nos esforços de David Hilbert (1862-1943), não dá conta, da inconsistência e da incompletude de axiomas e teoremas (PERLOVSKY; ILIN, 2012). Por outro lado, a experiência humana reconhece, prontamente, nas qualidades indesejáveis à luz das narrativas

matemáticas, a maneira como processamos cognitivamente nossa relação com as coisas do mundo e o entendimento imediato que fazemos de nossas experiências (KENNEDY, 2018; ZACH, 2019).

Somos inconsistentes, incompletos, tomamos inequações como igualdades; ainda que incômodas dentro de uma perspectiva lógica, tais qualidades reveladas na matemática parecem melhor acomodar a complexidade das propriedades biofísicas constatadas nos sistemas orgânicos.

Tal complexidade encontra-se expressa de forma multimodal, i.e., em sistemas estrutural e funcionalmente distintos, e fractal, i.e., multiescalar (DOUGHERTY; SHMULEVICH, 2012). Convivendo, no entanto, com indeterminações e sobreposições, esta funcionalidade complexa preserva, de forma intrinsecamente consistente, as assinaturas de identidade orgânica em equilíbrio dinâmico com nossas interrelações com o meio (ERNST et al., 2008).

Estamos assistindo a uma escalada de evidências de que os sistemas naturais, especialmente os sistemas biológicos humanos, incluídas suas expressões nas dimensões cognitivo comportamental, afetiva e social, são nebulosos, e de que as qualidades de contradição, redundância, imprecisão, estariam incorporadas como propriedades de sistemas de operadores biofísicos responsáveis pela integração, armazenamento e processamento de informações no organismo, em especial, no sistema nervos central (GENTILI, 2018).

A compreensão conceitual-emocional inspira e/ou caminha junto às nossas ações, sejam consolidadas como realizações motoras (gestos, fala, mímica, escrita etc.), seja no domínio não expressivo, cognitivo, introspectivo, imaginativo.

O papel essencial das emoções no funcionamento da mente vem sendo analisado em bases neurocientíficas experimentais como consequência dos avanços da psicologia experimental associada à neurobiologia. Assim, destacam-se os trabalhos pioneiros de Antonio Damásio, fundamentando em bases teóricas e experimentais uma proposta integrativa da cognição, em que esta é indissociável dos processos emocionais afetivos (DAMASIO, 1994).

Processos outrora não mensuráveis, não acessíveis à ciência experimental, objetiva, e que incluem intuições ou computações não

conscientes, emoções e ativação de programas motores na circuitaria cerebral não expressa como ação motora periférica vêm se provando pilares para o pensamento lógico-semântico (BECHARA et al., 2003; UMILTÁ et al., 2012).

Coerentemente, na raiz da construção da linguagem estariam as sensações motivacionais que antecipariam e transcenderiam o léxico propriamente dito, e seus construtos formais (CHOMSKY, 1981; PINKER, 2000; JACKENDOFF, 2002; TOMASELLO, 2003, entre outros).

Embora venha sendo confirmada em todos os estudos científicos contemporâneos acerca das bases biológicas e psíquicas da cognição, a implicação do afeto e afins (como enredamento estético, por exemplo) nos campos de aplicação do conhecimento humano caminha ainda a passos lentos.

A visão que remonta à antiguidade grega, reafirmada por Rene Descartes (1596-1650) no século XVII, quanto ao papel supostamente deletério das emoções para a formulação da razão (DAMASIO, 1994) tem seu peso ainda hoje. Nesta pesquisa procurou-se contribuir para dirimir a tensão entre objetividade e subjetividade considerando o campo de estudo das interações humano-computador, introduzido abaixo.

1.4.1 Modelagem da cognição

Elementos que remetem à lógica tradicional no processamento cognitivo consciente, auto-evidente e narrável, vêm inspirando o grande investimento no desenvolvimento de sistemas artificiais capazes de computar, à semelhança do humano. Autores contemporâneos, em especial Leonid Perlovsky, pensamento de referência nesta pesquisa, e atuante no campo da modelagem cognitiva, vêm tentando interpretar o porquê da aposta que os próprios cientistas fazem na lógica tradicional como base da cognição humana. Preocupado com seus desdobramentos para o desenvolvimento de sistemas neurocomputacionais, Perlovsky conclui que esta se dá justamente devido aos vícios de nosso estado consciente, conforme depreensível adiante sob diferentes perspectivas.

Nos anos 80, sistemas de conhecimento artificiais passariam a flexibilizar regras algorítmicas, incorporando recursos de aprendizagem em redes neurais, de cunho adaptativo (PERLOVSKY, 1991). O pressuposto era

de que o conhecimento seria moldável, plástico adaptativo. Estas apostas encontravam ressonância na atualização então recente de teorias acerca dos princípios e parâmetros de organização da mente linguística (CHOMSKY,1981).

A neurocomputação é fortemente apoiada sobre modelos conectivistas que defendem uma analogia funcional entre redes neurais computacionais e a circuitaria neurobiológica. Tais pressupostos inspiram, para muitos, a interpretação dos dados neurobiológicos funcionais associados aos processos cognitivos vivenciados pelo humano, prevalentes nos campos da neurobiologia da cognição e da neurobiologia computacional (CHURCHLAND, 1989; HORGAN; TIENSON, 1996).

Tais modelos têm implicitada a suposição, claro, de que o mapa e perfis de atividade (excitatória e inibitória) em elementos unidos por alças de *feedback* (retroalimentação negativa) e de *feedforward* na circuitaria neural. Mediante cancelamentos e amplificação por somação e/ou sincronização, outras partes da circuitaria disparadas pelo estímulo original seriam reativadas, viabilizando o reconhecimento do padrão já consolidado (aprendido), e que poderia ser reproduzido em bases computacionais, nas redes neurais.

Esta visão é defendida por cientistas na área de inteligência artificial como Blake Richards, da Universidade de Toronto, que desafia em bases teórica e de desenvolvimento de redes neurais artificiais, a tese de que seriam os neurônios as unidades morfofuncionais do sistema nervoso, para defender que estas são entidades distribuídas, indecifráveis para qualquer sistema de modelagem neural se adotados os neurônios como unidades fundantes (RICHARDS et al., 2019), com importante respaldo da neurobiologia experimental (PESSÔA, 2014).

O modelo neurobiológico conectivista pressupõe rotinas iterativas regidas por operadores lógicos tradicionais que vêm sendo apontados, frequentemente, como pouco eficazes em justificar bases biofísicas sistêmicas plausíveis como substratos dos comportamentos cognitivos do humano observados de forma experimentalmente controlada. Menos eficazes ainda vêm sendo estes modelos quanto à capacidade de reproduzir artificialmente a complexidade, a imprevisibilidade e a diversidade de nosso comportamento cognitivo em nossos artefatos computacionais. Basicamente, os

correspondentes matemáticos de modelagem nestes sistemas interpretativos nos colocam frente às dificuldades, já bem reconhecidas na literatura, resumidas como complexidade combinatória (CC). Processos nucleares da cognição humana, como o simbólico perceptual, supostamente responsável pela leitura em primeira pessoa que fazemos de nossas mudanças de estado presumivelmente decorrentes da ativação e atualização de nossos sistemas de transdução sensorial, vêm sendo argumentados como não explicáveis pela lógica clássica (PERLOVSKY; ILIN, 2012).

Crescer correspondentes matemáticos, computacionais, que possam explicar processos biofísicos subjacentes ao reconhecimento por associação detectado em nossas leituras de mundo não é tarefa simples, mas altamente desejável à luz da neurociência computacional. Várias tentativas foram feitas nos últimos 50 anos. Linguagem, pensamento, mente são conceitos, elementos, habilidades tidas como distintamente humanos. Relações estreitas entre linguagem e pensamento são sugeridas justificando a defesa que tradicionalmente se fez até hoje do sistema de regras e narrativas associado à lógica como correspondente da razão humana (PERLOVSKY, 2006).

Partindo do pressuposto que em níveis pré-, e cognitivos, padrões de atividade neurobiológica são instáveis, disparados por mudança de estado de sistemas sensoriais dependentes de rearranjo dinâmico das conexões ativas, atualizadas instantaneamente, associados ao processamento perceptual simbólico que experimentado, Perlovsky encontra a complexidade necessária para justificar modelos matemáticos funcionais de interpretação baseados sistemas lógicos não clássicos, dentre estes, mais especificamente a lógica *fuzzy* (PERLOVSKY; ILIN, 2012).

As dificuldades apontadas pelo autor em modelos matemático computacionais alicerçados na lógica convencional são atribuídas à complexidade combinatória (CC), conforme já mencionada acima (PERLOVSKY, 1998). O problema da CC foi identificado pela primeira vez no reconhecimento de padrões em sistemas classificatórios na década de 1960 e foi chamado de “a maldição da dimensionalidade” (BELLMAN, 1961).

No início, parecia que os algoritmos de reconhecimento de padrões estatísticos de autoaprendizagem poderiam aprender a resolver qualquer problema, bastando apenas fossem fornecidos dados de treinamento

suficientes. No entanto, depois de décadas de pesquisa, ficou claro que os reconhecimentos de padrões estatísticos adaptativos por algoritmos de rede projetados para autoaprendizagem frequentemente demandavam CC. Tomando como exemplo objetos formais, o sistema algorítmico precisava considerar todas as variações de um objeto em todas as possíveis posições geométricas e em combinações com outros objetos, fontes de luz e assim por diante, levando a números astronômicos e processamentos matemáticos que se revelariam desnecessários (revisado por PERLOVSKY, 2001).

A lógica serve como base para muitas abordagens de cognição e linguística; está subjacente à maioria dos algoritmos computacionais (PERLOVSKY; ILIN, 2012). Estados conscientes apresentam qualidades muito próximas àquelas que teorizamos no campo da lógica aristotélica.

Processos não conscientes, no entanto, precedem e acompanham aqueles diretamente implicados nas narrativas de estados conscientes. Subjazem aos processos conscientes, mas são inacessíveis à experiência em primeira pessoa, por conseguinte, em essência, não inteiramente objetiváveis, dificultando abordagens científicas voltadas ao entendimento do processamento cognitivo que se cumpre em dimensões não conscientes (BECHARA et al., 2003; PERLOVSKY; ILIN, 2012).

A questão é que o estado consciente narrativo vem se revelando como uma redução do processamento cognitivo, permitindo sua expressão reduzida na dimensão da linguagem; a lógica semântica, base organizadora das narrativas, sobretudo da narrativa científica, analítica, não abrange a complexidade multidimensional do processamento cognitivo (PERLOVSKY; ILIN, 2012).

Cognição é diferente de lógica. No entanto, para nós, é difícil escapar da captura promovida pela narrativa. Nossos processos corporais, afetivo-comportamentais parecem ser mais eficientes em revelar estas dimensões escondidas do processamento racional humano.

Perlovsky vem defendendo a ideia de que, para desenvolver um modelo matemático da cognição, seria necessário considerar as operações manifestas ao sujeito de forma instintiva, mas resultantes de processamentos envolvendo monitoramento interno (ou interoceptivo; do próprio corpo, consciente ou não) e externo (ou exteroceptivo; do ambiente, mais ou menos conscientemente); por

exemplo, quando o nível de glicose no sangue fica abaixo de um certo referencial bioquímico, o instinto "nos diz" para comer (PERLOVSKY, 2004).

Para satisfazer qualquer necessidade do organismo, ou seja, do corpo sujeito, seria necessário medir/aferir/sentir o mundo em torno dele. A necessidade de medir estaria na base dos processos cognitivos denominados pelo autor de conhecimento instintivo (PERLOVSKY, 2000). Um mecanismo semelhante conduziria à aprendizagem da linguagem e pode ser chamado de instinto de linguagem, comentado anteriormente.

Baseando-se em amplo conjunto de evidências neurobiológico-sistêmicas, Perlovsky e outros vêm propondo a mente e seus substratos biofísicos como um sistema multinível, hetero-hierárquico (PERLOVSKY, 2000; PESSOA, 2014). A mente não estaria baseada em um sistema de hierarquia rígida, mas dependente de conexões em *feedback* entre vários níveis adjacentes; daí o termo hetero-hierarquia. Em cada nível da organização do sistema nervoso central do humano, alterações de estado (sinais) avançariam de centros mais primários de processamento de sinais para centros superiores; no entanto, e simultaneamente, sistemas de processamento superiores estariam também sinalizando para os centros mais primários de cima para baixo, interagindo com sinais de entrada e de baixo para cima. Essas interações seriam, segundo (PERLOVSKY; ILIN, 2012), governadas pelo instinto de conhecimento, que impulsiona o aprendizado do modelo conceitual, a adaptação das redes de processamento neurobiológicas, e a formação de novos modelos conceituais para melhor correspondência da imagética de apreensão mental com os sinais de entrada.

No processo de associação por reconhecimento, os modelos são sinais de entrada adaptados para melhor representação dos sinais de entrada e por similaridade, as medidas são adaptadas de modo que sua imprecisão seja compatível com a incerteza do modelo. A incerteza inicial dos modelos é alta, assim como a imprecisão da medida de similaridade; no processo de aprendizagem, os modelos tornam-se mais precisos, a similaridade mais nítida e o valor da medida de similaridade aumenta. Esse mecanismo é chamado de lógica dinâmica.

Na perspectiva das redes neurais de aprendizado, clássicos como (GROSSBERG e LEVINE, 12015) foram atualizados de forma importante para

abranger mais do que a lógica clássica nos sistemas (PERLOVSKY, 1996; PERLOVSKY, 1998). Perlovsky parte do pressuposto, sugerido a partir de evidências neurobiológicas experimentais, de que linguagem e cognição são integradas em um nível pré-consciente. O mecanismo descrito de interação entre linguagem e pensamento pode se aplicar ao desenvolvimento lógico e aprendizagem, evolução de espécies biológicas e evolução de culturas.

Durante o processo de aprendizagem novas associações entre os perceptos e a memória consolidada seriam formadas, resultando em elaboração de novos conceitos ou na transformação de velhos. Portanto, é importante definir cuidadosamente uma matemática de processamento de dados que atenda à natureza plástica do conhecimento de assinatura biológica. Há que se buscar uma coerência entre as qualidades lógicas do sistema de processamento e aquelas identificadas como natureza dos dados.

Qualquer procedimento de aprendizado matemático, algoritmo ou rede neural dentro de sistemas lógicos tradicionais, maximiza, em alguma medida, similaridades e/ou minimiza diferenças. No entanto, na base da psiquê humana parecem existir modelos-arquétipos inconscientes que mais se assemelham às propriedades de variáveis e termos lingüísticos reconhecidas na lógica *fuzzy*.

Quanto mais elevado na hierarquia do processamento mental, mais abstrato o conceito apreendido e menos dependente de detalhes da experiência direta (PERLOVSKY; ILIN, 2012). Ou seja, os modelos funcionais que estariam na raiz da definição dos conceitos seriam generalizados em níveis hierarquicamente superiores. Ficam mais nebulosos aí, portanto, do que em níveis inferiores, estes estritamente dependentes da experiência (PERLOVSKY; ILIN, 2012).

Ainda segundo Perlovsky e Ilin (2012), a lógica difusa encontrou dificuldades relacionadas ao grau de imprecisão: se muita imprecisão é especificada, a solução não atinge a precisão necessária; se muito pouco, se torna semelhante à lógica formal.

Se a lógica tradicional é empregada para lidar com a imprecisão, infinitos graus de imprecisão passam a entrar no rol de rodadas intermináveis de tratamento matemático, levando ao esgotamento do sistema de processamento, ou CC.

A lógica dinâmica proposta por Perlovsky e Ilin (2012) contribuiria para superar os problemas da CC ao integrar a lógica *fuzzy* em seu processo, acomodando matematicamente as indefinições reconhecidas no processamento perceptual em humanos.

A modelagem proposta prevê uma correspondência *fuzzy* dos estímulos (perceptos, ou simplesmente sinais) sensoriais com símbolos e códigos semânticos. Os limites da lógica aristotélica relativamente à razão humana, não são uma reivindicação nova. De fato, segundo os autores, Aristóteles afirmou a não equivalência entre seu sistema lógico e os processos de razão humanos (PERLOVSKY; ILIN, 2012).

Sendo a lógica constitutiva do processamento cognitivo consciente, auto-evidente e narrável, autores contemporâneos, em especial Leonid Perlovsky, citado amplamente nesta pesquisa, atuante no campo da modelagem cognitiva, vêm tentando interpretar o porquê da aposta que os próprios cientistas fazem na lógica tradicional como base da cognição, e conclui que esta se dá justamente devido aos vícios de nosso estado consciente, conforme depreensível adiante sob diferentes perspectivas.

Modelos de interpretação e inferências sobre o processamento neurobiológico cognitivo, que são quase sempre baseados na lógica clássica, especialmente representada por rotinas iterativas, vêm sendo muito pouco eficazes em elucidar as bases biofísicas sistêmicas de comportamentos observados experimentalmente. Menos eficazes ainda vêm sendo estes modelos clássicos quanto à capacidade de reproduzir artificialmente a complexidade, a imprevisibilidade e a diversidade de nossas respostas cognitivas.

Basicamente estes modelos levam a dificuldades já bem reconhecidas na literatura, resumidas como complexidade combinatória (CC). Processos nucleares da cognição humana, como o processamento simbólico perceptual, supostamente responsável pela interpretação perceptual que fazemos de nossas mudanças de estado decorrentes da ativação e atualização de nossos sistemas de transdução sensorial, não se explicam pela lógica clássica (PERLOVSKY; ILIN, 2012).

Segundo Sergey Perlovsky e Roman Ilin (2012), a linguagem e o pensamento são habilidades distintamente humanas. Relações estreitas entre

linguagem e pensamento são sugeridas pelo sistema de regras e narrativas associado à lógica que identificamos como matemática.

O cientista da computação, pesquisador em neurocomputação e neurobiologia de sistemas, Sergey Perlovsky propõe que reconhecer, seja em níveis pré-, ou cognitivos, padrões de atividade neurobiológica disparados por mudança de estado de sistemas sensoriais frente a objetos do meio que impressionam nossos sistemas ou receptores sensoriais, envolve associar subconjuntos de atividades- que correspondem a transductos neuroquímicos da rede neurobiológica a representações internas desses objetos, correlacionadas com a atividade de elementos da circuitaria neurobiológica (PERLOVSKY, 2012). Esta tese vem sendo defendida em correntes ditas conectivistas, atuantes nos campos da neurobiologia da cognição e da neurobiologia computacional. O modelo conectivista assume que o mapa e perfis de atividade (excitatório e inibitória) em elementos unidos por alças de *feedback* (retroalimentação negativa) e de *feedforward* na circuitaria neural, e recrutados a partir de objetos perceptuais e/ou mnemônicos, guarda correspondência, no mínimo parcial, com padrões vivenciados anteriormente, a partir de recrutamento de unidades funcionais da circuitaria neural, mediante cancelamentos e amplificação por somação e/ou sincronização, suficientes para reativar outras partes da circuitaria em modo disparado pelo estímulo original, viabilizando o reconhecimento do padrão já consolidado (aprendido). Esta visão em rede é defendida por cientistas na área de inteligência artificial como Blake Richards, da Universidade de Toronto, que desafia em bases teórica e de desenvolvimento de redes neurais artificiais, a tese de que seriam os neurônios as unidades morfofuncionais do sistema nervoso, para defender que estas são entidades distribuídas, indecifráveis para qualquer sistema de modelagem neural se adotada adotados os neurônios como unidades fundantes (RICHARDS et al., 2019), com importante respaldo da neurobiologia experimental (PESSÔA, 2014).

Descrições matemáticas de processos relacionados ao reconhecimento por associação não são fáceis de desenvolver. Várias tentativas foram feitas nos últimos 50 anos. As dificuldades em boa parte são resumidas sob a noção de complexidade combinatória (CC) (PERLOVSKY, 1998). O problema da CC foi identificado pela primeira vez no reconhecimento de padrões em sistemas

classificatórios na década de 1960 e foi chamado de “a maldição da dimensionalidade” (BELLMAN, 1961).

No início, parecia que os algoritmos de reconhecimento de padrões estatísticos de autoaprendizagem poderiam aprender a resolver qualquer problema, bastando apenas fossem fornecidos dados de treinamento suficientes. No entanto, depois de décadas de pesquisa, ficou claro que os reconhecimentos de padrões estatísticos adaptativos por algoritmos de rede projetados para autoaprendizagem frequentemente demandavam CC.

Tomando como exemplo objetos formais, o sistema algorítmico precisava considerar todas as variações de um objeto em todas as possíveis posições geométricas e em combinações com outros objetos, fontes de luz e assim por diante, levando a números astronômicos e processamentos matemáticos que se revelariam desnecessários (revisado por PERLOVSKY, 2001).

Nos anos 80, os sistemas de conhecimento baseados em modelos tornaram-se tão populares, que foram propostos para combinar vantagens da adaptabilidade e regras, utilizando recursos adaptativos (PERLOVSKY, 1991). O conhecimento seria moldável de forma a acomodar aspectos decorrentes de situações concretas, desde que incorporasse parâmetros plásticos adaptativos. Dentro da mesma linha, Chomsky (1981) foi atualizando sua teoria acerca dos princípios e parâmetros organizadores da mente linguística.

A lógica serve como base para muitas abordagens de cognição e linguística; está subjacente à maioria dos algoritmos computacionais (PERLOVSKY; ILIN, 2012). Estados conscientes apresentam qualidades muito próximas àquelas que teorizamos no campo da lógica aristotélica.

Processos não conscientes, no entanto, precedem e acompanham aqueles diretamente implicados nas narrativas de estados conscientes. Subjazem aos processos conscientes, mas são inacessíveis à experiência em primeira pessoa, por conseguinte, em essência, não inteiramente objetiváveis, dificultando abordagens científicas voltadas ao entendimento do processamento cognitivo que se cumpre em dimensões não conscientes (BECHARA et al., 2003; PERLOVSKY; ILIN, 2012).

A questão é que o estado consciente narrativo vem se revelando como uma redução do processamento cognitivo, permitindo sua expressão reduzida

na dimensão da linguagem; a lógica semântica, base organizadora das narrativas, sobretudo da narrativa científica, analítica, não abrange a complexidade multidimensional do processamento cognitivo (PERLOVSKY; ILIN, 2012).

Cognição é diferente de lógica. No entanto, é difícil escapar da captura promovida pela narrativa. Nossos processos corporais, afetivo-comportamentais parecem ser mais eficientes em revelar estas dimensões escondidas do processamento racional humano.

Perlovsky vem defendendo a ideia de que, para desenvolver um modelo matemático da cognição, seria necessário considerar as operações manifestas ao sujeito de forma instintiva, mas resultantes de processamentos envolvendo monitoramento interno (ou interoceptivo; do próprio corpo, consciente ou não) e externo (ou exteroceptivo; do ambiente, mais ou menos conscientemente); por exemplo, quando o nível de glicose no sangue fica abaixo de um certo referencial bioquímico, o instinto "nos diz" para comer (PERLOVSKY, 2004).

Para satisfazer qualquer necessidade do organismo, ou seja, do corpo sujeito, seria necessário medir/aferir/sentir o mundo em torno dele. A necessidade de medir estaria na base dos processos cognitivos denominados pelo autor de conhecimento instintivo (PERLOVSKY, 2000). Um mecanismo semelhante conduziria à aprendizagem da linguagem e pode ser chamado de instinto de linguagem, comentado anteriormente.

Baseando-se em amplo conjunto de evidências neurobiológico-sistêmicas, Perlovsky e outros vêm propondo a mente e seus substratos biofísicos como um sistema multinível, hetero-hierárquico (PERLOVSKY, 2000; PESSOA, 2014). A mente não é uma hierarquia rígida, existem várias conexões de *feedback* entre vários níveis adjacentes; daí o termo hetero-hierarquia.

Em cada nível da organização do sistema nervoso central do humano, alterações de estado (sinais) avançariam de centros mais primários de processamento de sinais para centros superiores; no entanto, e simultaneamente, sistemas de processamento superiores estariam também sinalizando para os centros mais primários de cima para baixo, interagindo com sinais de entrada e de baixo para cima. Essas interações seriam, segundo (PERLOVSKY; ILIN, 2012), governadas pelo instinto de conhecimento, que

impulsiona o aprendizado do modelo conceitual, a adaptação das redes de processamento neurobiológicas, e a formação de novos modelos conceituais para melhor correspondência da imagética de apreensão mental com os sinais de entrada.

No processo de associação reconhecimento, os modelos são adaptados para melhor representação dos sinais de entrada e similaridade as medidas são adaptadas de modo que sua imprecisão seja compatível com a incerteza do modelo. A incerteza inicial dos modelos é alta, assim como a imprecisão da medida de similaridade; no processo de aprendizagem, os modelos tornam-se mais precisos, a similaridade mais nítida e o valor da medida de similaridade aumentam. Esse mecanismo é chamado de lógica dinâmica.

Na perspectiva das redes neurais de aprendizado, clássicos como Grossberg e (LEVINE, 12015) foram atualizados de forma importante para abranger mais do que a lógica clássica nos sistemas (PERLOVSKY, 1996; PERLOVSKY, 1998).

Perlovsky parte do pressuposto, sugerido a partir de evidência neurobiológicas experimentais, de que linguagem e cognição são integradas em um nível pré-consciente. Assim, a incerteza e imprecisão de dois aspectos dos modelos integrados podem diferir. Ainda assim, a existência de um modelo linguístico fuzzy acelera o aprendizado e a adaptação do modelo cognitivo correspondente e vice-versa. (PERLOVSKY,2012) sugere que este é um mecanismo de interação entre linguagem e cognição, e que ambas as habilidades se aprimoram.

O mecanismo descrito de interação entre linguagem e pensamento pode se aplicar ao desenvolvimento lógico e aprendizagem, evolução de espécies biológicas e evolução de culturas.

Durante o processo de aprendizagem novas associações de sinais de entrada são formadas, resultando em lição de novos conceitos. Portanto, é importante definir cuidadosamente uma medida matemática do melhor ajuste entre modelos e sinais; em outras palavras, uma medida de similaridade (ou diferença) entre sinais e modelos. Na verdade, qualquer procedimento de aprendizado matemático, algoritmo ou rede neural maximiza alguma medida de similaridade ou minimiza uma diferença.

Na base da psiquê parecem existir modelos-arquétipos *fuzzy* inconscientes. Todo processo de aprender um modelo conceitual envolve um modelo inconsciente difuso, que se torna mais nítido e consciente e mais claramente ligado à experiência e outros conceitos. Este processo conecta consciente e inconsciente e aumenta os limites de conhecimento e consciência. De acordo com a definição de Carl Jung (1971), é um processo simbólico, noções de símbolo e signo usadas por Carl Jung (1971), (KARL, 1971) e cultura geral, e que é diferente de algumas definições na semiótica clássica e inteligência artificial. O processo simbólico pode ocorrer completamente dentro da mente e não tem de envolver sinais no mundo exterior. Os sinais de entrada do nível inferior da mente são sinais em que o processo de símbolo opera.

Fora destes sinais, com a ajuda de um desconforto difuso modelo, o processo simbólico cria um novo conceito em seu nível hierárquico, que é mais nítido e mais consciente do que o modelo original difuso. Quando o processo de símbolo termina, o resultado é um novo sinal, que pode ser usado em um nível mais alto na hierarquia da mente para criar novos símbolos.

Quanto mais elevado na hierarquia do processamento mental, mais abstrato o conceito apreendido e menos dependente de detalhes da experiência direta. Ou seja, os modelos funcionais que estariam na raiz da definição dos conceitos seriam generalizados em níveis hierarquicamente superiores. Ficam mais nebulosos aí, portanto, do que em níveis inferiores, estes estritamente dependentes da experiência (PERLOVSKY; ILIN, 2012).

Ainda segundo Perlovsky e Ilin (2012), a lógica difusa encontrou dificuldades relacionadas ao grau de imprecisão: se muita imprecisão é especificada, a solução não atinge a precisão necessária; se muito pouco, se torna semelhante à lógica formal. Se a lógica é usada para encontrar a imprecisão apropriada, classificando vários graus de imprecisão para cada modelo em cada etapa de processamento, então resulta em CC.

A lógica dinâmica proposta pelos autores, portanto, associada à *fuzzy*, contribuiria para superar os problemas da CC, abrindo o processamento para a acomodação matemática de imprecisões dos modelos atraídos por correspondência com os sinais, porém por correspondência *fuzzy*, em cada estágio reconhecido à luz da neurobiologia da cognição. Essa dinâmica parece

servir bem a uma representação teatral do processo de aprendizagem das formas aristotélicas (PERLOVSKY; ILIN, 2012).

1.5 INTERFACE HUMANO-COMPUTADOR

Dependemos, sociedades e indivíduos humanos, de nossas máquinas. Nossos sistemas computacionais se destacam entre nossas máquinas, pois que exercem, em geral, funções centrais na relação humano-máquina, são *hubs* operacionais. Estão no centro de praticamente todas as nossas redes de produção como sistemas de entrada, processamento e saída de dados e informações, associados a sensores e efetores, por sua vez, máqunicos e/ou humanos.

As dimensões humanas, perceptual, cognitiva, estético afetiva e motora (ação) estão inscritas nos recursos funcionais providos por nossos artefatos, obedecendo os limites impostos pela concepção em si do artefato e pelo alcance técnico/tecnológico de seu tempo. O humano, suas demandas pragmáticas e seus julgamentos funcionais estão, em algum nível, previstos na operacionalidade e na funcionalidade dos sistemas computacionais.

O que se estabelece entre o humano (usuário) e seus artefatos, máqunicos, computacionais, são interações, mediadas por sua vez, por interfaces. Fala-se então de interface humano-máquina (IHM), humano-computador (IHC), através das quais as interações se estabelecem de forma recíproca. Embora o lar acadêmico original para a IHC tenha sido a ciência da computação e seu foco original tenha se voltado às aplicações de produtividade pessoal, sobretudo, edição de texto e planilhas, o campo foi diversificando e superando todas as fronteiras, expandindo-se para abranger visualização, sistemas de informação, sistemas colaborativos, processo de desenvolvimento e áreas do design. IHC é, portanto, tema que integra a psicologia, design, comunicação, ciência da cognição, ciência da informação, estudos ciência/tecnologia/sociedade, geografia humana, gestão industrial, engenharias. Pesquisa e prática em IHC baseiam-se e integram todas essas perspectivas, o que também a coloca em crescimento ininterrupto. Um dos

resultados desse crescimento é que não faz mais sentido considerar a IHC como uma especialidade da ciência da computação. A IHC é mais ampla, maior e muito mais diversificada do que a própria ciência da computação (CHUNG, 2009).

Tendo se incumbido inicialmente do comportamento de usuários individuais e genéricos, rapidamente passaria a incluir computação social e organizacional, e responder a demandas de acessibilidade de pessoas debilitadas física e/ou cognitivamente, e atividades humanas num espectro o mais amplo possível. De programas (aplicativos) de escritório a jogos, do aprendizado à educação, do comércio às aplicações médicas e de saúde, do planejamento às respostas de emergência, além de sistemas para apoiar a colaboração e a comunidade (FENNER, 2008). A IHC evoluiria para prover interações multimodais, onipresentes, sensíveis ao contexto (FRANCO, 2014).

As apostas originais dos desenvolvedores e cientistas na IHC já confirmavam seu caráter enquanto ciência aplicada, agregando métodos e teorias da ciência cognitiva para o desenvolvimento, sobretudo, de programas. A ciência da cognição seria a base preditiva de comportamento humano diante da IHC e orientaria as metas a serem atingidas no desenvolvimento de programas. Kim (2015) ressalta que engenharia, psicologia, ergonomia, desenho, entre outros campos, convergem para a compreensão e para o controle do uso que o humano faz de seus dispositivos computacionais, e das interações bidirecionais estabelecidas. Estudos mais sistemáticos de interações humano-máquinas começaram em fábricas, com ênfase nas tarefas manuais, mas teriam sofrido um grande impulso com a segunda guerra mundial (KIM, 2015).

Os recursos tecnológicos de interface humano-computador vêm ganhando espaço cada vez maior. Em meados da década de 1990, os profissionais de IHC e todos os outros perceberam que a busca é um paradigma mais fundamental do que procurar coisas em uma interface de usuário (HUNTER, 2016).

Na história, o lançamento do sistema Windows 95 pela Microsoft (em 24 de agosto de 1995), representou um dos maiores marcos no campo das interfaces gráficas dispostas entre o usuário e o sistema operacional, agregando valor estético, visual simbólico, relativamente às versões anteriores

do Windows cuja interface com o usuário se restringia a apresentação de caracteres numéricos e linguísticos. Teclar comandos textuais, abrir e fechar janelas em parte cederam lugar ao cursar de um mouse sobre ícones imagéticos: bastava ao usuário selecionar visualmente o elemento imagético apresentado pela interface gráfica, posicionar o cursor do mouse e clicar, dispensando com frequência o uso do teclado e as entradas e saídas codificadas. Justificava-se, assim, a quebra de paradigma que este lançamento representaria na interação humano computador (KIM, 2015).

Uma das realizações mais significativas da IHC é a evolução de um modelo de integração entre pesquisa e prática. Inicialmente, esse modelo foi articulado como uma relação recíproca entre ciência cognitiva e engenharia cognitiva. Mais tarde, incorporaria, ambiciosamente, uma base científica diversificada, notavelmente, a psicologia social e organizacional, a teoria da atividade a cognição distribuída e a sociologia e uma abordagem etnográfica da atividade humana, incluindo as atividades de design e desenvolvimento e apropriação de tecnologia (VENTER, 2007).

Embora a IHC, como campo de estudo aplicado, sempre tenha sido considerada uma ciência do design ou uma orientação para designers, este se apresentou por algum tempo como ciência colaborativa, e autônoma, até que, na década de 1990, a IHC acabaria por inspirar muitas comunidades de design em seu próprio bojo, que acabariam por especializar-se. Avanços substanciais nas tecnologias de interface de usuário acabaram por transferir grande parte do valor proprietário potencial das interfaces de usuário para o design gráfico, que passou a lidar com ontologias ricas de experiência do usuário (SUN, 2006). O design é atualmente o aspecto dos estudos de IHC que apresenta mais rápida evolução.

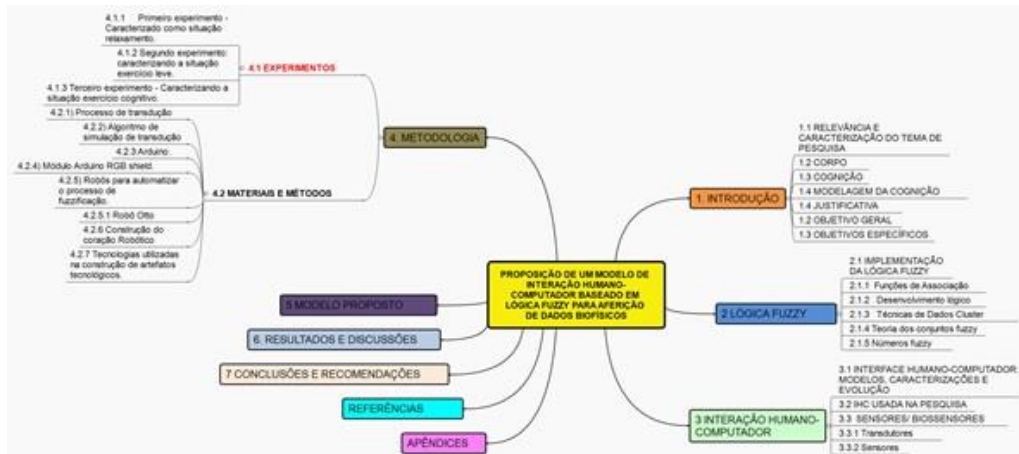
Conforme previsto em fins da década passada, novas protodisciplinas de design acabariam por surgir da IHC (SHAPIRO, 2009). A representação de uma ideia por meio de mapas mentais, ferramentas de pensamento que buscam refletir exteriormente o que se passa na mente, tornou-se uma das técnicas mais utilizadas pela IHC: “Um Mapa Mental utiliza todas as habilidades do cérebro para interpretar palavras, imagens, números, conceitos lógicos, ritmos, cores e percepção espacial com uma técnica simples e eficiente. Ele

nos dá a liberdade de ir aonde quer que nossa mente nos leve” (BUZAN, 1996 – p. 37).

A técnica de mapeamento mental foi desenvolvida no final da década de 1960 e até hoje vem sendo empregada em diferentes áreas de atuação humana (EVREKLI, IEL, BALIM, 2010). O mapeamento mental é uma técnica extremamente valiosa usada por alunos no processo de aprendizagem (EVREKLI, IEL, BALIM, 2009).

Como técnica de anotação, o mapa mental permite que indivíduos possam organizar pensamentos, conceitos, objetos em torno de um elemento conceitual central, do qual irradiam outros conceitos/temas, ramificando-se em desdobramentos que acabam revelando uma estrutura nodal pluriconceitual conectada (KELEŞ, 2012- p. 94). Conforme esquematizado na Figura 1, a criação de mapas mentais pode ancorar o desenvolvimento de análises lógico-racionais, ferramentas importantes na problematização de interfaces humano-computador.

Figura 1. Exemplo de interface mapa mental.



Fonte: elaboração do Autor.

As IHCs comunicam informação da máquina para o usuário, e do usuário para a máquina. Interfaces do tipo sensores, dispositivos de comandos de entrada por ação motora humana e outros, transferem sinais para o *hub* computacional, que os processam para efetuação de respostas operacionais, dentro de bases pré-definidas pelo humano que concebeu o sistema. O resultado retorna ao usuário, em dimensões gráfica, mecânica, procedural etc, exigindo leituras biológicas cognitivas multimodais, podendo envolver mais ou

menos diretamente o sistema motor voluntário. Reconhece-se assim um típico fluxo de informações entre os componentes artefactual e humano do sistema, que acaba por abrir uma ampla área de estudo voltada à elucidação das bases de controle possíveis nestes sistemas, de ambos os lados em relação à interface, e em ambos os sentidos. Interfaces gráficas prevalecem nestes sistemas, aceitando entradas a partir de dispositivos de entrada e provendo um painel de visualização gráfica articulado com a entrada (monitoramento da entrada) e com informações de saída pós-processamento. Destacam-se três componentes operacionais do artefato computacional, quais sejam os dispositivos entrada/saída, tela e CPU, e outros três do humano, ou seja, sistemas sensorial, cognitivo e motor, entre os quais se estabelece o fluxo de informações.

O estudo das relações entre os dois grupos é fundamental para a modelagem de interfaces humano-computacionais mais eficazes, seja atendendo a fins industriais, clínicos e/ou pesquisa básica.

A presente tese busca sugerir novas ferramentas para o desenvolvimento da IHC. Especial atenção, no entanto, damos em relação aos elementos sensório/cognitivo/motores reconhecidos na interface com o humano, posto que argumentamos, com base no avanço neurocientífico das últimas décadas, pela indissociabilidade do sistema cognitivo para com propriedades/dimensões funcionais e substratos neurobiológicos tradicionalmente identificados com o processamento emocional afetivo, e/ou estético subjetivo (GALLESE, 2018). Portanto, estes são valores que estarão, ora mais, ora menos diretamente, agregados à nossa proposta, dentro do possível para as condições de desenvolvimento experimental preliminar alcançado nesta pesquisa.

1.6 LÓGICA FUZZY

A lógica *fuzzy*, ou lógica nebulosa, foi elaborada em meados dos anos 60 por Lofti Zadeh (1921-2017) (ZADEH, 1965). No cotidiano, a lógica *fuzzy*, ou lógica nebulosa, vem tomando o lugar da lógica tradicional em múltiplas e crescentes frentes de aplicação, como base matemática de controladores em sistemas automotivos (caixas de velocidades automáticas, direção de quatro

rodas e controle do ambiente do veículo), bens eletrônicos de consumo (sistemas Hi-Fi, fotocopiadoras, câmeras de vídeo e televisão), bens domésticos (fornos de micro-ondas, frigoríficos, torradeiras, aspirador de pó e máquinas de lavar roupas) e de ambiente (ar condicionado, secadores, aquecedores e umidificadores).

Atende a sistemas conectados, de microcontroladores a estações de trabalho em rede. Mas o que existe de especial na lógica *fuzzy* e nos sistemas por ela operados? A lógica *fuzzy* pode ser insuficiente como raciocínio preciso, no entanto, trata-se de um raciocínio aceitável. A lógica *fuzzy* torna possível lidar matemática e operacionalmente com incertezas na engenharia (LEVINE, 2015), podendo ser implementada em *hardware*, *software* ou uma combinação de ambos.

Ancorado em nossos conhecimentos prévios, nossas experiências, e num modo pré-narrativo de computar, o pensamento humano contempla, na resolução de problemas, fatores como ambiguidade, incerteza e informações vagas.

Evidências acumuladas dos grandes campos de estudo sobre a cognição humana, vêm revelando que o nosso pensamento tem raízes difusas, que, no entanto, suprem com racionalidade e boas apostas nossas avaliações de mundo e acontecimentos, sugerindo a existência de um processamento lógico difuso, ruidoso, nebuloso (PERLOVSKY; ILIN, 2012), e que acabaria por inspirar o conceito de uma lógica nebulosa, ou difusa, ou *fuzzy* (ZADEH, 1965), conforme adiantamos mais acima.

De fato, estas propriedades imprecisas da lógica “encarnada”, humana, são dificilmente acomodáveis ou previstas no processamento realizado por nossas máquinas baseadas na lógica clássica (KLIR, 1997) (Quadro 1). A modelagem computacional tradicional apoia-se nesta última: não trabalha com ambiguidades tampouco indeterminações, pois utiliza conceitos booleanos. Mesmo assim, a precisão empregada pela lógica booleana é sabidamente limitada, carregando sempre, por menor que seja, um grau de incerteza.

Quadro 1. Abordagens lógica clássica e lógica *fuzzy*.

Lógica Clássica	Lógica Difusa (FUZZY)
Predicados exigem definição exata	Predicados não possuem definição exata
Não existe resposta diferente de verdadeiro ou falso.	As respostas possuem um grau de veracidade que variam entre “totalmente falso (0)” e “totalmente verdadeiro (1)”

Fonte: elaboração do Autor.

Sistemas *fuzzy* podem ser descritos como conjuntos de regras de lógica *fuzzy*, ou como conjuntos de equações relacionais *fuzzy* (SIMÕES; SHAW, 2007). A lógica *fuzzy* começa com um conjunto de regras de linguagem humana fornecidas pelo usuário.

Os sistemas *fuzzy* convertem essas regras em seus equivalentes matemáticos, tornando possível o trabalho do projetista do sistema computacional, resultando em representações mais próximas às vivências e leituras que realizamos em primeira pessoa (NASCIMENTO, 2016). A lógica *fuzzy* pode ser vista como uma teoria matemática formal para a representação de incertezas (ZADEH, 1965; ZADEH, 1996).

A lógica *fuzzy* pode lidar com problemas decorrentes de imprecisões e/ou falhas dos dados e pode modelar funções não-lineares de complexidade arbitrária. Dentre as conveniências desse sistema matemático, Cosenza e colaboradores (2006) apontam seu papel fundamental para a consecução de projetos de sistemas especialistas e o importante suporte às tomadas de decisão, em vários segmentos do conhecimento e desenvolvimento tecnológico humano.

Na lógica *fuzzy*, diferentemente da lógica condicional padrão, a verdade de qualquer afirmação é uma questão de grau: quão frio está o dia, quão alto é alguém, entre outros. Estamos familiarizados com as regras de inferência da forma p implica em q ($p \rightarrow q$).

Os sistemas de inferência *fuzzy* consistem em várias regras SE-ENTÃO condicionais. Para o projetista que entende o sistema, estas regras são fáceis

de serem escritas, de forma que tantas regras quantas forem necessárias podem ser fornecidas para descrever o sistema de forma adequada - embora, normalmente, apenas um número moderado de regras seja necessário (NASCIMENTO, 2016).

As variáveis em *fuzzy* são definidas por intervalos de valores e não valores singulares. Para a regra SE-ENTÃO o tempo está se aquecendo, a refrigeração é elevada, por ex., significa que as duas variáveis, aquecimento e elevação, mapeiam para intervalos de valores.

Os sistemas de inferência *fuzzy* dependem das funções de associação para explicar ao computador como calcular o valor correto entre 0 e 1. O grau em que qualquer instrução em *fuzzy* é verdadeira é denotado por um valor entre 0 e 1, e não necessariamente por 0 ou 1.

Ao admitir intervalos matemáticos de valores ao invés dos valores duros inteiros 0 ou 1, o tratamento matemático para situações *fuzzy* acaba se revelando um correspondente potencialmente mais fiel à cognição e julgamento humanos. A lógica *fuzzy* parece dar transcrever matematicamente propriedades de julgamento em situações de tomada de decisão pelo humano, em que as possibilidades intermediárias entre os valores digitais SIM e NÃO estão em jogo.

O bloco lógico convencional que um computador pode entender toma uma entrada precisa e produz uma saída definida como VERDADEIRO ou FALSO, que é equivalente a SIM ou NÃO do ser humano. Ao contrário dos computadores, a tomada de decisão humana inclui uma gama de possibilidades entre SIM e NÃO, conforme o Quadro 2, abaixo (ZADEH, 1996):

Quadro 2. Lógica *fuzzy*.

CERTAMENTE SIM
POSSIVELMENTE SIM
NÃO POSSO DIZER
POSSIVELMENTE NÃO

CERTAMENTE NÃO

Fonte: elaboração do Autor.

Existem várias maneiras de empregar a lógica *fuzzy* na modelagem de sistemas (BABUSKA, 1998). A lógica *fuzzy* trabalha as possibilidades de entrada, relacionando-as a saídas definidas.

Alfredo Boente (2006) lembra ainda que a lógica difusa fornece solução para problemas que são caracterizados pela manipulação de valores com valores múltiplos que são típicos do pensamento humano; segundo o autor, é um método para especificar problemas reais em termos probabilísticos sem recorrer a um modelo matemático e com um nível de abstração maior.

Boente (2013) destaca, ainda, que a lógica *fuzzy* é caracterizada pelo manuseio natural da imprecisão e simplicidade conceituais, vinculando expressões linguísticas a intervalos de dados numéricos tendo como base tabelas de valoração por associação quali/quantitativas crescidas a partir da experiência de especialistas.

Está matematicamente provado que o tratamento de sistemas nebulosos, qualitativos, valorados linguisticamente, dispensa relações lineares, mostrando-se aplicável em modelagem de sistemas cibernéticos, na previsão de séries temporais, na mineração de dados. Dentre as principais vantagens que a lógica *fuzzy* oferece, destacam-se as seguintes (NASCIMENTO, 2016; LIU, 2006; LANNES, 2009):

- a) conceitos matemáticos dentro do raciocínio difuso são muito simples;
- b) pode-se modificar um sistema baseado em *fuzzy* apenas adicionando ou excluindo regras, proporcionando flexibilidade ao seu desenho de processamento lógico;
- c) na lógica difusa as informações de entrada podem ser ruidosas, distorcidas e imprecisas;
- d) os sistemas baseados em *fuzzy* são fáceis de construir e entender;
- e) a lógica *fuzzy* é uma solução para problemas complexos em todos os campos da vida, incluindo a medicina, por se assemelhar ao raciocínio humano e à tomada de decisões pelo humano.

1.6.1 Implementação

O processamento de dados por Lógica *Fuzzy* se dá em quatro módulos principais (LANNES, 2009):

a) Fuzificação: transforma as entradas do sistema, que são valores numéricos, em conjuntos difusos. Este módulo de fuzificação classifica os valores de entrada entre cinco classes de termos linguísticos. O Quadro 3 exemplifica cinco classes de termos linguísticos para a variável linguística temperatura:

Quadro 3. Módulo de fuzificação.

F	Frio
N	Nem quente, nem frio
C	Confortável
Q	Quente
MQ	Muito quente

Fonte: elaboração do Autor.

b) Conhecimento: tabela que sintetiza regras, em geral SE-ENTÃO, fornecidas por especialistas.

c) Inferência: simula matematicamente o processo de raciocínio humano, fazendo inferências difusas sobre as entradas, a partir da tabela de conhecimento especialista.

d) Defuzificação: cálculo de um número *crisp* de saída do sistema, correspondente a cada número *crisp* de entrada, porém refletindo o processamento *fuzzy*.

A modelagem de um sistema em *fuzzy* tem seus elementos-chave: o primeiro é o universo do discurso, que é o domínio da variável. O segundo é a variável que está em estudo.

O terceiro é a função de associação $\mu_f(x) \rightarrow [0,1]$, que permite, através do grau de filiação, determinar o termo linguístico associado, o último elemento. As funções de associação relacionam uma base de dados a uma base inferencial de regras definida, de forma nebulosa, por especialistas. Este é o arcabouço de conhecimento do sistema *fuzzy*.

Para construir a inferência, a lógica *fuzzy* usa os operadores da lógica bi-valorada, especificamente, AND, OR e NOT. A lógica *fuzzy* usa a possibilidade de modificação das regras de inferência.

As inferências, geralmente de estrutura SE-ENTÃO, são definidas a partir do conhecimento de especialistas expresso em geral como termos linguísticos aos quais são associados intervalos numéricos de medidas. Aos intervalos numéricos são aplicadas regras formais geométricas, definindo conjuntos intervalares geométricos, ou conjuntos *fuzzy*.

Os conjuntos são triangulares ou trapezoidais, em sua maioria, mas podem assumir outras formas, dependendo do tipo de correspondência entre valores experimentais (mensurações por sensores, por exemplo) e os qualificadores ou termos linguísticos de domínio dos especialistas.

A atribuição da forma da função é, portanto, de natureza humana, técnico subjetiva, mas não é arbitrária. Além disso, define a transformação *fuzzy* aplicada aos valores numéricos de entrada e ao cálculo dos valores numéricos de saída. As medidas de entrada, ditas *crisp*, são transformadas em valores difusos no fuzificador e estes redimensionados para valores de saída *crisp*, em geral diferentes dos *crisp* de entrada, após processo de defuzificação (ZADEH, 1996; BOENTE, 2013).

1.6.2 Funções de associação

Uma função de associação ou pertinência é uma função numérica gráfica ou tabulada que dá valores de pertinência *fuzzy* para valores discretos de uma variável, que pertencem ao universo de discurso.

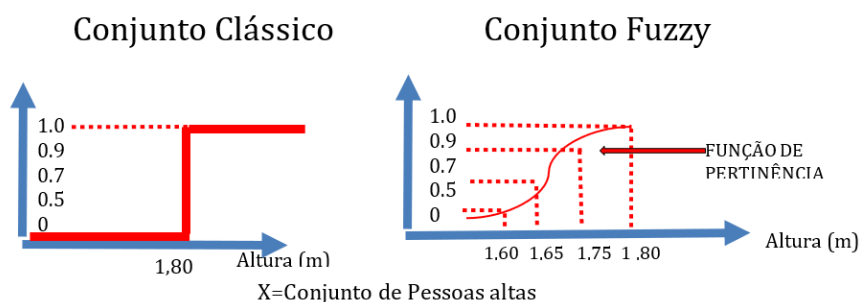
Imaginemos um conjunto clássico de medidas da variável altura humana: uma pessoa com 1,75m muito provavelmente será classificada por diferentes pessoas, sistemas etc. com termos linguísticos distintos do universo do discurso, gerando um acervo, frequentemente contraditório, de qualificadores. O valor numérico 1,75 neste universo não é consensualmente classificável como uma medida correspondente a qualidades de alto ou baixo na espécie humana.

Por conseguinte, dispor somente destes dois qualificadores – alto ou baixo, e de relações de pertencimento absolutas para com estes qualificadores, do tipo 0 ou 1 (0 ou 100%) - não configura um sistema eficaz para organizar matematicamente, em bases lógicas, as conclusões finais sobre essa medida.

A Figura 2 abaixo ilustra matematicamente os problemas que encontramos ao tentarmos analisar a relação de um intervalo de medidas de altura humana com um dos termos linguísticos, no caso, “pessoas altas”, à luz de sistemas lógicos clássicos (à esquerda), e como um tratamento por lógica *fuzzy* (à direita) suaviza a transição dos elementos do intervalo de medidas entre os dois extremos de pertencimento ao conjunto de “pessoas altas”.

Em *fuzzy*, no exemplo abaixo, uma pessoa com 1,75 m de altura se classifica no conjunto de pessoas altas com pertinência de 0,8, ou 80%, neste exemplo, ao passo que, no tratamento clássico, seu pertencimento a esta categoria é zero.

Figura 2. Função de pertinência.



Fonte: elaboração do Autor.

As funções de associação se aplicam a conjuntos difusos de variáveis, permitindo quantificar o termo linguístico e representar um conjunto difuso de forma gráfica matemática, o conjunto *fuzzy*.

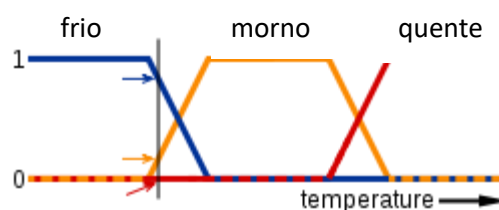
Uma função de associação para um *conjunto fuzzy* A no universo do discurso em torno de uma variável X é definida como $\mu_A: X \rightarrow [0,1]$. Para cada elemento de X associa-se um valor entre 0 e 1, o grau de associação $\mu_A(x)$, ou pertinência, do elemento de X ao *conjunto fuzzy* A . À representação gráfica (Figura 3), os valores no eixo x correspondem ao universo do discurso, e aqueles do eixo y correspondem aos graus de associação que variam dentro do intervalo $[0, 1]$, ou 0 a 100%.

Os valores de X são agrupados em intervalos associados aos termos linguísticos da variável, no exemplo utilizado na (Figura 3), a temperatura do ambiente.

A correspondência entre intervalos de valores numéricos e termos linguísticos que qualificam a variável exibe sobreposições parciais, de forma que um mesmo valor numérico pode estar associado a dois termos linguísticos vizinhos, podendo assumir graus de pertinência diferentes para cada termo. Pode-se experimentar uma variedade de funções de associação de intervalos de valores com os termos linguísticos de uma dada variável.

Funções de associação simples geralmente bastam e são as mais empregadas; o uso de funções complexas não parece adicionar vantagens em precisão, por exemplo, expressas na saída do sistema, pós-defuzificação. As curvas na Figura 3 representam, portanto, as funções de associação entre elementos sucessivos dos intervalos de valores numéricos e seus respectivos graus de pertinência para com os termos linguísticos frio, nem quente nem frio, confortável, quente e muito quente.

Figura 3. Funções de associação trapezoidais dos termos linguísticos associados à temperatura.



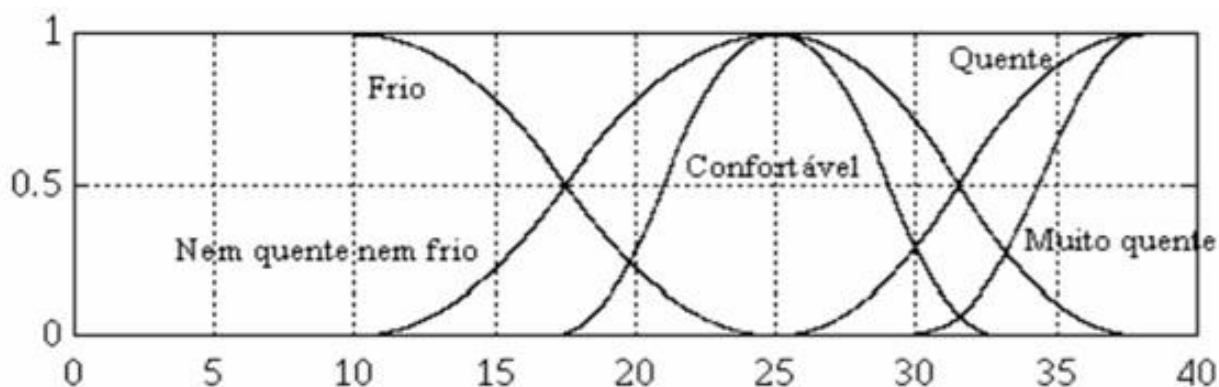
Fonte: adaptado de FUZZY LOGIC TEMPERATURE (WIKIPÉDIA).

Segundo Shaw e Simões (2000), as funções de associação (ou pertinência) sintetizam os aspectos fundamentais de todas as ações teóricas e práticas adotadas no tratamento *fuzzy* dedicado a um sistema qualquer.

A relação entre elementos sucessivos dos intervalos de valores numéricos e seus respectivos graus de pertinência para com os termos linguísticos é, em sua ampla maioria, estabelecida como um espaço geométrico, o conjunto *fuzzy*, em que a pertinência dos valores numéricos de cada intervalo correspondente a um determinado termo linguístico sobe linearmente, atinge um ápice (que pode ser um vértice pontual ou um platô (caracterizando um intervalo dentro do intervalo), desce linearmente, e simetricamente em relação à rampa de subida para os valores iniciais do intervalo.

Outras curvas de associação, além da triangular e da trapezoidal, aqui explicitadas, podem ser testadas uma vez que os pressupostos de associação dos valores sucessivos aos termos linguísticos demandem relações não lineares e/ou maior complexidade. Assim surgem funções senoidais, *singleton*, gaussianas e outras que não precisam nem ser simétricas, (Figura 4). Curvas de associação/pertinência triangulares, no entanto, são as mais comumente utilizadas.

Figura 4. Funções de associação *fuzzy* não lineares, neste caso, senoidais.



Fonte: GARCIA (2009).

1.6.3 Desenvolvimento *fuzzy*

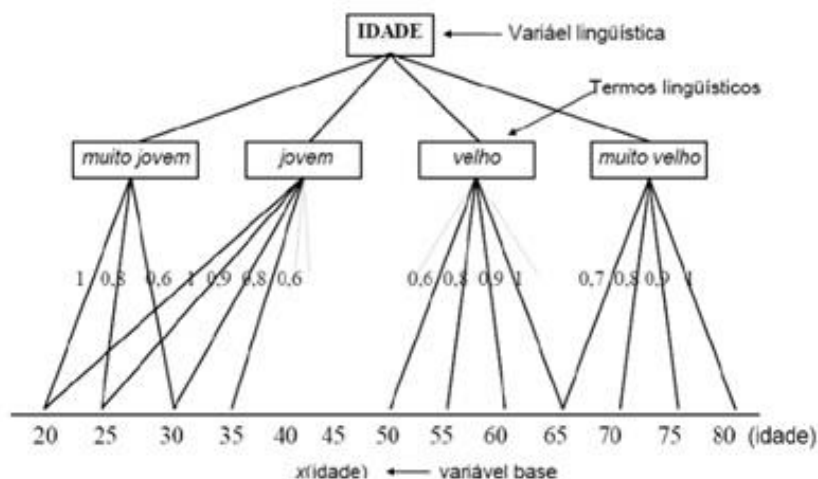
A seguir, apresentamos um passo a passo para a definição das variáveis linguísticas em *fuzzy*. Tecnicamente, a principal função dessas variáveis linguísticas é fornecer uma maneira sistemática para caracterização, ainda que aproximada, de fenômenos complexos ou mal definidos:

a) Etapa 1: definir variáveis e termos linguísticos

As variáveis linguísticas são variáveis de entrada e saída na forma de palavras simples ou frases. Tomemos aqui por exemplo, temperatura ambiente. A uma dada variável se aplica os qualificadores desta variável, denominados termos linguísticos, neste caso exemplificados como frio, quente, muito quente, etc., ou para outras variáveis quaisquer.

A Figura 5 ilustra diagramática- e graficamente os principais parâmetros do processo de fuzificação, tomando como exemplo a variável linguística idade, ao invés da temperatura com a qual lidamos acima (BELCHIOR, 1997):

Figura 5. Arquitetura *fuzzy* (representação variável linguística).



Fonte: BELCHIOR (1997).

a) Etapa 1: cada termo linguístico, portanto, se associa a um intervalo dos valores ou medidas. Retomando o exemplo ilustrativo da temperatura, sintetizamos a seguir as etapas subsequentes:

b) Etapa 2: construção das funções de associação

Nesta etapa cumpre-se a determinação das funções que serão melhor associadas aos qualificadores linguísticos da variável temperatura.

c) Etapa 3: construção das regras da base de conhecimento

Cria-se, nesta etapa, uma matriz de qualificadores da temperatura ambiente *versus* qualificadores da temperatura alvo que um sistema de condicionamento do ar deve fornecer, conforme o Quadro 4 a seguir:

Quadro 4. Exemplo de matriz de qualificadores linguísticos para a variável temperatura.

Alvo → Temperatura ambiente ↓	Muito frio	Frio	Morno	Quente	Muito quente
Muito frio	Sem alteração	Calor	Calor	Calor	Calor
Frio	Legal	Sem alteração	Calor	Calor	Calor
Caloroso	Legal	Legal	Sem alteração	Calor	Calor
Quente	Legal	Legal	Legal	Sem alteração	Calor
Muito quente	Legal	Legal	Legal	Legal	Sem alteração

Fonte: elaboração do Autor.

A partir daí, define-se o conjunto de regras na base de conhecimento, em nosso caso, escolhemos estruturas SE-ENTÃO, que, a despeito de inspiradas na lógica booleana, são adaptadas para a lógica *fuzzy*. O quadro 5 exemplifica o conjunto aplicável à sistema de controle sobre a variável temperatura.

Quadro 5. Exemplo de conjunto de regras de base de conhecimento aplicável para sistemas de controle sobre a variável temperatura.

Regra	Conhecimento	Ação
1	SE temperatura = (Frio OU Muito Frio) E meta = Quente ENTÃO	Calor
2	SE temperatura = (Quente OU Muito Quente) E meta = Quente ENTÃO	Legal
3	SE (temperatura = Quente) E (alvo = Quente) ENTÃO	Sem alteração

Fonte: elaboração do Autor.

d) Etapa 4: obtenção do valor *fuzzy*

Aqui, as operações do conjunto difuso instrumentam uma a avaliação das regras. As operações usadas para OR e AND são Max. e Min., respectivamente. Combina-se então os resultados da avaliação para se chegar a um resultado final. Este consiste num valor dito difuso.

Vale uma nota sobre as técnicas de agrupamento dos dados em *fuzzy*. As funções de associação ou pertinência são definidas por especialistas usando conhecimento, e algoritmos que permitem ensaios de agrupamento dos dados denominados *clusters fuzzy*. A cada *cluster*, portanto, corresponde uma função de associação.

Na clusterização em *fuzzy* uma mesma classe linguística agrupa dados/valores próximos, podendo fazê-lo, e mais frequentemente, por métricas lineares. Os dados podem pertencer a um determinado nível, e a mais de um *cluster*.

Semelhante à lógica bivalente (booleana), que usa gráficos como dendrogramas e critérios como o vizinho mais próximo, economia máxima ou método de varredura, para fazer partições rígidas, em geral binárias, a lógica multivalorada usa uma variedade de técnicas de dados de *cluster fuzzy* para dar conta de níveis de complexidade bem maiores sobre sua análise.

Técnicas subtrativas, por exemplo introduzida por Bezdek (1981), permitem o agrupamento de dados pertencentes a espaços multidimensionais diferentes, definindo *clusters* com otimização de suas propriedades (CHIU, 1994). Técnicas adaptáveis, por sua vez, utilizam distâncias não fixas entre os dados para o cálculo dos *clusters* (CHIU, 1994). O grande desafio está em definir o sistema de clusterização melhor adaptado ao sistema de inferências *fuzzy* adequado à situação em estudo.

1.7 DISPOSITIVOS SENSORES

A atividade motora leva a alterações metabólicas gerais, na dinâmica de trocas respiratórias com o meio e na dinâmica do sistema cardiovascular. Estas alterações são conhecidas por seus efeitos na taxa de pulsação, quando por exemplo se consideram situações corriqueiras, do dia a dia, como estar relaxado, ou estar fazendo exercício físico.

Sabe-se, mesmo por auto-observação, empírica, que a taxa de batimentos cardíacos aumenta sensivelmente quando estamos em exercício ou mesmo quando saímos da situação de relaxamento e nos colocamos em caminhada. O estado emocional humano, por outro lado, tem manifestações externas, que podem ser bem visíveis para o próprio e à observação de terceiros, mesmo na ausência de sensores.

Quanto aos ajustes somáticos que promovem, estes podem ficar despercebidos, em algumas de suas manifestações, pelo próprio indivíduo,

sobretudo na dependência do tipo e intensidade dos estímulos considerados, e que estariam levando à mudança de aspectos somático biofísicos de seu estado geral. Medidas de taxa de pulsação podem ser indicadoras de mudanças de estado ou engajamento emocional afetivo do indivíduo, incluindo muitas de ordem mais sutil, como vivenciadas em situação de trabalho cognitivo, ou em situação de engajamento numa experiência qualificável como estética (DAVIES, 2016).

Parâmetros biofísicos dinâmicos que podem ser utilizados para aferir mudanças de estado em humanos e outros animais, captáveis pelo uso de sensores, são hoje variados: potencial elétrico transcraniano através de medidas eletroencefalográficas, condutância elétrica de pele ou atividade eletrodermal, frequência cardíaca, frequência respiratória, temperatura de superfície da pele, entre outros (KREIBIG, 2010).

O termo transdutor se aplica a dispositivos completos que convertem um tipo de energia em outro (THEBAS, 2009). Esta conversão é possível na medida em que tais dispositivos combinam as funções sensor e atuador, demandadas em sistemas de automação, medição e controle, onde os sinais elétricos são convertidos para e/ou a partir de outras grandezas físicas (energia, força, torque, luz, movimento, posição etc.).

O processo em si de converter uma forma de energia em outra é conhecido como transdução. Um sensor é um dispositivo cujas propriedades físicas são alteradas por mudanças nas condições mecânica, eletromagnética, térmica etc. de entrada provenientes de um sistema físico ou biofísico qualquer, levando a mudanças das propriedades físicas de sinais de saída do transdutor.

Sensores em geral requerem uma fonte de alimentação externa para operar, e que provê o sinal de partida, sobre o qual se aplicam interferências, se houver, provocadas por mudanças nas condições físicas (ou mesmo químicas) do sistema ao qual o sensor encontra-se acoplado, modificando o sinal de original do dispositivo sob a forma de alterações na tensão ou na corrente de saída. Na figura 6 é apresentado um sensor digital sensível a mudanças da temperatura.

Figura 6. Sensor de temperatura digital.



Fonte: STARTECHROBOTICS.

Um bom exemplo de um sensor ativo é o transformador diferencial variável linear ou *strain gauge*¹. Os medidores de tensão são redes de pontes resistivas sensíveis à pressão, e que são polarizadas no campo externo (sinal de excitação) de modo a produzir uma tensão de saída na proporção da quantidade de força e/ou tensão aplicada ao sensor (BALBINOT; BRUSAMARELLO, 2007).

Ao contrário de um sensor ativo, um sensor passivo não precisa de nenhuma fonte de energia adicional ou tensão de excitação. Em vez disso, um sensor passivo gera um sinal de saída em resposta a algum estímulo externo. Por exemplo, um termopar que gera sua própria saída de tensão quando exposto ao calor. Então, os sensores passivos são sensores diretos que alteram suas propriedades físicas, como resistência, capacitância ou indutância etc.

Os sensores analógicos produzem um sinal ou tensão de saída contínua que é geralmente proporcional à quantidade que está sendo medida. Quantidades físicas como temperatura, velocidade, pressão, deslocamento, etc., são quantidades analógicas, pois tendem a ser contínuas na natureza (ALBRIGHT; ANNALA, 2014). Por exemplo, a temperatura de um líquido pode ser medida usando um termômetro ou termopar que responde às

¹ É um sensor que é colocado na superfície de uma peça, responsável por medir a deformação diante da aplicação de um carregamento. Essa técnica é muito utilizada para a verificação dos níveis de tensão atuante diante da condição de operação de um equipamento ou máquina.

mudanças de temperatura à medida que o líquido é aquecido ou arrefecido (BALBINOT; BRUSAMARELLO, 2007).

Os sensores analógicos tendem a produzir sinais de saída que estão mudando ao longo do tempo. Esses sinais podem ser muito pequenos, de alguns microvolts (uV) a vários milivolts (mV), fazendo-se muitas vezes necessária alguma forma de amplificação (ALBRIGHT; ANNALA, 2014). Circuitos que medem sinais analógicos geralmente exibem resposta lenta e / ou com baixa precisão. Sinais analógicos podem ser convertidos em digitais para uso em sistemas de microcontroladores através de conversores analógicos para digitais ou ADC's (ALBRIGHT; ANNALA, 2014).

Sensores digitais produzem sinais ou tensões digitais discretas, cujos sinais de saída são caracteristicamente binários, "1" ou "0", ("ON" ou "OFF"). Isso significa que um sinal digital só produz valores discretos (não contínuos) que podem ser emitidos como um "bit" único (transmissão serial) ou combinando os bits para produzir uma única saída de "byte" (transmissão paralela) (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2015).

A precisão do sinal digital é proporcional ao número de bits utilizados para representar a quantidade medida. Por exemplo, usando um processador de 8 bits, tem-se uma precisão de 0,390% (1 parte em 256). Ao usar um processador de 16 bits, a precisão passa para 0,0015%, (1 parte em 65.536) ou 260 vezes maior. Esta precisão pode ser mantida à medida que as quantidades digitais são manipuladas e processadas milhões de vezes mais rápido que os sinais analógicos (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2015).

1.8 LÓGICA FUZZY E EMOÇÃO

É geralmente aceito que os sistemas dinâmicos do campo disciplinar são uma base útil para o desenvolvimento da psicologia; no entanto, o que gerou discordância é a aproximação de modelos teóricos matemáticos utilizados para estudar aspectos de expressão cognitiva e/ou comportamental do humano com os qualificadores observados nas experiências ou grupos examinados para estudo.

Lewis (2000) e Fischer e Bidell (2006), de forma independente, ao buscarem modelos que conciliassem emoções, seus substratos neurobiológicos e desenvolvimento humano na emergência de psicopatologias, investigaram a existência de padrões em dimensões diferentes da análise, do biofísico ao cognitivo comportamental, baseando-se em conceitos sistêmicos. Lewis aposta em modelos que preveem pontos de estabilidade e mudança, enquanto Fischer se concentra no estudo de variabilidade e da instabilidade (LEWIS, 2000; FISCHER, 2006).

Ao longo da história da pesquisa em Inteligência Artificial, muitos modelos foram propostos para descrever a mente humana (EL-NASR et al, 2000). A lógica *fuzzy* está entre as primeiras ferramentas teóricas exploradas para desenvolver modelos de emoção computacional, com vias à representação de diferentes aspectos das emoções.

Yanaru (1997) usou inferências *fuzzy* para definir emoção enquanto uma pessoa está lendo um poema, usando as 8 emoções prototípicas propostas por Plutchik (1980). Cabe destacar que o sistema de Yanaru (1992) usou os resultados de processamento por fuzificação de valores numéricos parametrizados correspondentes ao estado emocional anterior para inferir as qualidades de sua atualização para um novo estado.

Finalmente, voltando ainda mais no tempo, vemos que em 1998 El-Nasr propôs modelagem *fuzzy* aplicada a sistema estimulador de expressões gráficas de emoção em animal de estimação virtual, para torná-lo mais confiável no julgamento dos humanos, tendo delimitado, em seu modelo, indicadores comportamentais e cognitivos de envolvimento emocional de tal forma que o animal de estimação virtual pudesse tomar suas próprias decisões consequentes, enquanto respondia pelos objetivos e aprendia virtualmente a partir de experiências anteriormente fornecidas como resultado do sistema humano-dispositivo formado.

Numa outra iniciativa, Mandrik e Atkins (2007) desenvolveram um método para quantificar os estados emocionais durante a interação com as tecnologias lúdicas, mapeando de medidas fisiológicas associadas a engajamento emocional. Neste trabalho a lógica *fuzzy* provou ser útil para testar a aceitação das pessoas para novos produtos, e também para medir estados emocionais humanos. Anos mais tarde, estudos como estes

inspirariam a aplicação de modelos *fuzzy* em situações de forte engajamento emocional para otimização da relação entre humanos e máquinas, caros ao campo de interação humano-computador em nossa era (RAIRÁN, 2010).

1.9 JUSTIFICATIVA

Técnicas de visualização de dados vêm atraindo um interesse crescente, não só da academia como do mercado, sobretudo no sentido de dar maior visibilidade e eficiência de leitura a aspectos de alta complexidade, em geral propriedades de abrangência interdisciplinar.

São adotados nas ciências básicas e aplicadas, via de regra, formatos de apresentação de dados que demandam alta abstração, representados majoritariamente pelos sistemas cartesianos de curvas e por tabelas numéricas. Tais sistemas acabam por empobrecer drasticamente a demanda pelos demais modos de avaliação da experiência humana com dados.

Abrimos mão assim, por tradição técnico científica, de trânsitos cognitivos de natureza, por vezes dita subjetiva, pois multimodais perceptuais de alta complexidade, e que são frequentemente pré-narrativos.

Pode-se esperar que a visão interpretativa sistêmica de um profissional que lida com a estética e organização tradicionais dos dados técnico-científicos seja pouco favorecida e, eventualmente, comprometida. Acreditamos que nosso sistema tem o potencial de vir a auxiliar na avaliação técnica dos dados por especialista/cientista, impactando positivamente na qualidade técnica da informação extraída a partir destes.

Apresenta-se como nesta pesquisa um método de transformação dos dados de entrada de sensores, no caso empregado um sensor biofísico (de frequência de pulso arterial, i.e., transposto como sensor de batimentos cardíacos) em parâmetros de intervalos geométricos determinados por processamento *fuzzy*, ou números *fuzzy*. A proposta acabou se expandindo, com o avançar da tese, no desenvolvimento de um protótipo que transduz dados correspondentes a medida biofísica, dados correspondentes medida biofísica frequência de pulsos arteriais (ou por inferência, de batimentos cardíacos), em movimentos robóticos e/ou faixas coloridas, parametrizadas, portanto, em emissão de luz.

Os dados de entrada nos dispositivos não precisam limitar-se às medidas biofísicas diretamente aferidas e pré-processadas pelo algoritmo de cálculo de frequências atrelado ao mecanosensor utilizado, mas pode estender-se a qualquer série de medidas ou de valores (dados) numéricos.

O monitoramento biofísico do corpo em experiência clínica e/ou científica, seja por avaliação dos dados originais transduzidos para os dispositivos de trabalho mecânico e emissão de luz, seja transformados em dados fuzificados parametrizados para visualização gráfica *fuzzy* e/ou de transdução semiótica sensorial, conforme abordado mais adiante, dá-se, no sistema, em tempo real e encontram-se disponíveis como alternativa em estudos que se proponham a investigar seus efeitos sobre a capacidade humana de interpretá-los de forma coerente com o estado geral dos indivíduos e sistemas aferidos, e facultar previsões técnico-científicas e/ou clínico-diagnósticas, a serem avaliadas em estudos futuros.

O novo método de processamento de dados biofísicos por lógica *fuzzy*, complementado por sistema de visualização de dados baseado em transdução com valor estético agregado, é promissor no sentido de favorecer uma experiência que resgata qualidades da natureza tanto biofísica como cognitivo perceptual de nossa condição como sistemas humanos, em algum grau organizados com base em imprecisões, ambiguidades e nebulosidades. Entende-se que consequência seja um reconhecimento intuitivo, mais eficaz, de ordens complexas, invisíveis nos dados técnicos duros quando apresentados pelo formalismo e estética cartesianos.

1.10 OBJETIVOS

O objetivo prático desta pesquisa é propor um modelo de interface humano-computador que vai do processamento à apresentação de dados obtidos como medidas realizadas por sensor biofísico, e que se baseia essencialmente em lógica *fuzzy* e geração de construtos de percepção sensorial.

A motivação é contribuir para o acervo de instrumentos técnicos de processamento, visualização e análise de dados com sistemas que otimizem a

avaliação perceptual complexa do especialista/observador, engajando-o numa experiência cognitiva multimodal e sensorial estética no campo da interface humano-computador.

1.10.1 Objetivos específicos

Apresentar os conceitos teóricos pertinentes a esta pesquisa;

Desenvolver uma proposta de associação sistêmica dos conceitos teóricos implicados diretamente nesta pesquisa;

Desenvolver sistema de processamento matemático computacional, baseado em lógica *fuzzy*, para tratamento de dados de sensor biofísico disponível no mercado;

Criar dispositivos que permitam a comunicação com nosso sistema de transformação por fuzificação dos dados e com sistemas de parametrização.

Desenvolver um sistema de transdução paramétrica dos dados pós-processados para bases físicas que permitam novas experiências de leitura dos dados por médicos e/ou cientistas especialistas;

Submeter os experimentadores pesquisadores, ainda que em bases empíricas, a seus efeitos por auto-experimentação;

Projetar, de forma cientificamente argumentada, possíveis impactos na leitura realizada por especialistas;

2 METODOLOGIA

A pesquisa cresce sobre frentes metodológicas multifacetadas. Associa de forma complementar desenvolvimentos qualitativo, técnico analítico, técnico experimental e de dispositivos. Encaixa-se como uma tendência metodológica emergente que vem crescendo nas pesquisas biomédicas, conforme revisto em Tariq e Woodman (2010). Neste trabalho de revisão, destaca-se a importância crescente das contribuições de abordagens investigativas qualitativas quando combinadas com resultados quantitativos.

De fato, a complexidade dos sistemas envolvendo organismos vivos, especialmente o humano em suas demandas de comportamento cognitivo, fica evidente pela análise dos dados coletados pelas pesquisas quantitativas, nos

revelando não-linearidades, indeterminações e imprevisibilidades que dificultam ou impedem a extração de informações e a elaboração de modelos teóricos robustos de funcionamento e previsão funcional destes sistemas.

Desta forma, entende-se a necessidade de agregar, de maneira coordenada, à pesquisa objetiva, quantitativa, contribuições de teor exploratório observacional, subjetivo, empírico não controlado, cujos resultados são *a priori* não numéricos. Na sintonia com o que vem se revelando uma tendência já detectável nos anos 90 (CARACELLI; GREENE, 1993), mas que se afirma com cada vez mais força na contemporaneidade (TARIQ; WOODMAN, 2010), combinamos métodos quali-e quantitativos nesta pesquisa, conforme apresentaremos a seguir.

Na operacionalização da pesquisa foram cumpridas as dez metas listadas abaixo:

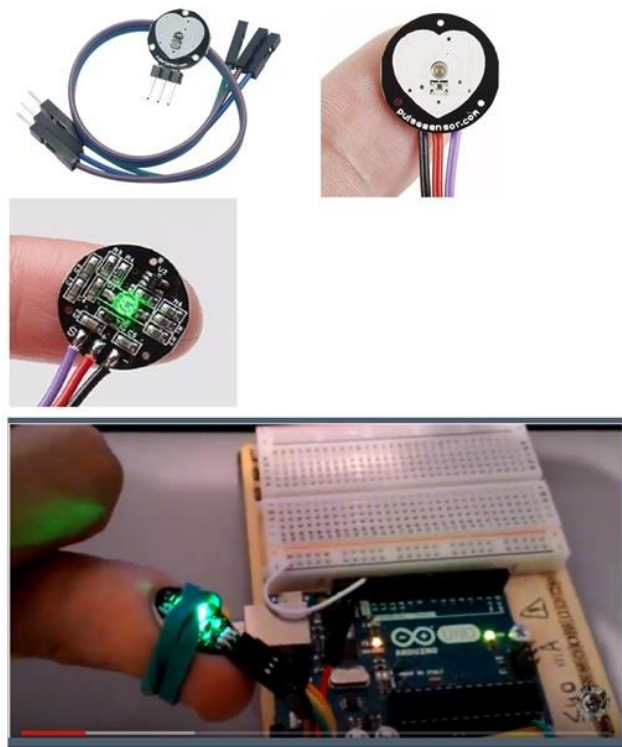
- a) determinação dos objetivos;
- d) delimitação do universo de conceitos e variáveis;
- c) definição do universo teórico fundante da pesquisa;
- b) delineamento da metodologia da pesquisa;
- e) definição do universo prático, técnico objetivo da pesquisa;
- f) coleta de dados;
- g) delineamento e desenvolvimento de um sistema de processamento de dados coerente com os objetivos;
- h) criação de sistema de gráfico de visualização dos dados pós-processados coerente com os objetivos;
- i) criação de sistema robótico de apresentação dos dados pré- e pós-processados;
- k) problematização dos resultados frente à base teórica da pesquisa.

2.1 DISPOSITIVOS

2.1.1 Pulse Sensor

O parâmetro biofísico de aferição escolhido para esta tese foi a taxa de pulsação ou batimento cardíaco. Realizamos para este fim ensaios de monitoramento da pulsação arterial, descritos mais adiante, e utilizamos para este fim o dispositivo Pulse Sensor, conforme detalharemos a seguir. A figura 7, abaixo, apresenta o sensor de pulso, IHC usada na pesquisa.

Figura 7. Sensor de frequência de pulsação arterial e seu acoplamento a sistema microcontrolador do tipo Arduino.



Fonte: elaboração do Autor.

O sensor é do tipo *plug-and-play*, projetado para microcontroladores de placa única do tipo Arduino. O quadro 6 apresenta as características técnicas e variáveis de controle do sensor.

Quadro 6. Características técnicas e variáveis de controle do sensor.

Arduino UNO	PulseSensor
Fio jumper VERMELHO	5V ou 3V
Fio jumper PRETO	GND (TERRA)
Fio jumper ROXO	A0 (Pino zero analógico)
Variável	Função
Sinal	Variável que corresponde a flutuações analógicas de voltagem, dados brutos de entrada Pin 0 do sensor, veiculados pelo fio jumper roxo do microcontrolador; intervalo de amostragem 2 milissegundos
BPM	<i>Beats per minute</i> ; variável tipo inteira (booleana); corresponde à frequência de pulsos, ou pulsação, calculada a partir dos 10 valores anteriores do IBI
IBI	<i>Interbeat interval</i> ; variável int; corresponde ao intervalo de tempo entre pulsos
Pulso	Variável int; LED Pin 13
QS	<i>Quantified self</i> ; Variável int; atualização do BPM; redefinida pelo usuário

Fonte: adaptado a partir de PULSE SENSOR AMPED (2008).

O sensor é um fotopletismógrafo Pulse Sensor Amped (World Famous Electronics llc.) (PULSE SENSOR, 2008) encaixado na extremidade do dedo

ou no lóbulo da orelha, com a superfície provida com um LED verde acoplado a um sensor de luz ambiente voltada e pressionada contra a pele.

O sistema de detecção da pulsação vascular baseia-se na leitura da luz refletida pelo tecido a partir de sua iluminação por LED, que emite luz com incidência constante sobre a superfície tegumentar.

Conforme o sistema de vasos da extremidade do dedo ou do lóbulo da orelha é preenchido por sangue, o que ocorre a cada pulsação, a luz ambiente captada pelo sensor acoplado eleva-se.

A relação absorção/reflexão da luz do LED são amplificadas a partir do fotosensor de luz refletida, acompanhando as mudanças de fluxo sanguíneo pela rede vascular a cada ciclo sístole-diástole cardíacas (ALLEN, 2007). O caráter oscilatório destas medidas gera alterações correspondentes em parâmetros de corrente no circuito processador.

O sensor é dotado, portanto, de pequeno processador que, veremos, perfaz periodicamente, o cálculo da taxa (ou frequência) de ocorrência de eventos inteiros, os pulsos, por minuto, conhecidas como medidas de batimentos – ou pulsos - por minuto (BPM), atualizando-as de forma aproximadamente instantânea.

A saída do sistema óptico está conectada, portanto, a um microcontrolador, em nosso caso, UNO Arduino, mediante cabeamento em ponte.

O sinal veiculado é processado por rotinas em código Arduino Code V1.2 Walkthrough (PULSE SENSOR AMPED, 2008). Disponibilizado em site para o sistema sensor, o código aberto Arduino Code V1.2 permite o processamento do sinal de maneira que os dados de entrada analógicos acabam por prover medidas booleanas de pulsação, que se constituem caracteristicamente por cálculos de frequência.

O sistema permite ainda o monitoramento gráfico, em tempo real, dos dados de saída (curva fotopletismográfica ou fotopletismograma) e/ou das taxas de pulsação, pós processamento por Code V1.2.

A curva temporal das medidas revela um comportamento rítmico, pulsátil, de picos e vales, atribuído a altos e baixos do volume sanguíneo da rede vascular que acompanha, de forma sincronizada, com pequeno atraso (considerando-se os pontos de medida, na extremidade dos dedos e lóbulo da

orelha) o ritmo de batimentos cardíacos. Os picos (ditos componentes AC) são sobrepostos a uma linha de base de variação lenta (componentes ditos DC) com vários componentes de frequência inferior atribuídos à respiração, simpática atividade do sistema nervoso e termorregulação (ALLEN, 2007).

A figura 8 exhibe o sensor que efetua a leitura de pulsação. O sensor óptico amplificador está ao centro da imagem, aceso. Os dados são enviados para o microcontrolador através de um único pino de sinal.

Figura 8. Sensor de pulsação conectado ao microcontrolador.



Fonte: elaboração do Autor.

2.1.2 Módulo Arduino/Placa RGB

Nesta pesquisa utilizamos também o Arduino (UNO) associado à placa RGB (RGB *shield*), conforme apresentado na figura 9. A placa é equipada com LEDs (*Light Emitting Diode*) de cores diferentes: vermelho (*Red*), verde (*Green*) e azul (*Blue*), justificando o termo RGB. Foi utilizado uma shield com um LED RGB de resistência variável, onde a intensidade luminosa de cada cor é determinada pelo sistema, que após a análise do dado coletado pelos sensores, faz a transdução do valor em luminosidade, resultando em uma mistura das cores RGB gerando uma cor final.

Os leds aplicados LEDs WS2812b Dimmerable datasheet, Cada LED é alimentado por uma entrada autônoma de corrente elétrica, atendendo a demandas do transdutor *fuzzy*/RGB, conforme justificaremos mais adiante, na seção de Resultados.

Figura 9. Módulo Arduino RGB *shield*.

Fonte: HOBBY MC.

2.1.3 Robô Otto

A série Britânica *Black Mirror*, em tempos atuais, talvez seja a que mais se aproxima de uma possível representação de robôs em nossa sociedade. Na quinta temporada da série, o terceiro episódio intitulado de “Rachel, Jack e Ashley Too”, Rachel (Andourie Rice) tem uma vida monótona, passa o tempo assistindo vídeos e entrevistas de seu ídolo, a estrela pop Ashley (Miley Cyrus), Ashley ganha de presente do Pai, robô de brinquedo baseado em sua personalidade, chamado Ashley Too que pode ser comprado por fãs da cantora. Rachel, acompanhada de Ashley, conforme a Figura 10, abaixo. O envolvimento estético do usuário com o robô, beirando o estabelecimento de uma relação afetiva, é notório.

Figura 10. Personagem Rachel e Ashley Too em Black Mirror.



Fonte: NETFLIX

Aproveitando-nos do potencial de engajamento subjetivo conferível pelo uso de robô antropomórfico, no contexto desta pesquisa nos utilizamos do robô Otto (Otto DIY Workshop s.r.o.) para automatização do processamento de dados por fuzificação (OTTO DIY), realizando a importação dos dados fuzificados e envio para o Arduino RGB, quando então cores são apresentadas de acordo com os parâmetros biofísicos lidos.

Otto é um protótipo de robô **opensource**². Em nosso caso, o uso deste modelo de robô se fez vantajoso, pois o *hardware* é facilmente discernível, compatível com microcontroladores tipo Arduino, e permite a impressão e personalização em 3D. Otto é um robô de gênero neutro que aproxima crianças e pessoas à tecnologia, com o intuito de facilitar a aprendizagem da conexão lógica entre código e ação.

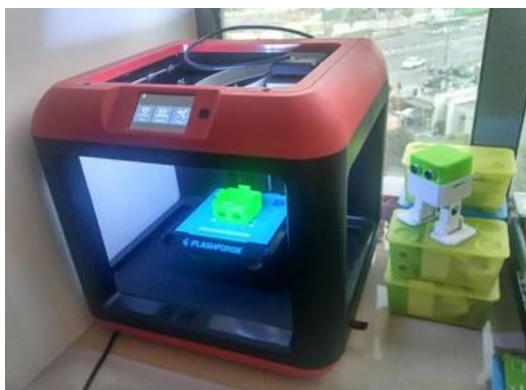
No próprio processo de montagem do robô, a pertinência de seus módulos e o entendimento das bases gerais de seu funcionamento eletrônico são introduzidos ao usuário. Diversas variáveis são experimentadas, como forma, simplicidade, robustez, resistência.

O esquema de montagem reflete sua estruturação por módulos que se interligam, prevendo a eventual substituição de módulos de forma independente dos demais. Geralmente os materiais mais comuns utilizados

² O termo *opensource* significa "código aberto", refere-se a algo em que as pessoas podem modificar e compartilhar porque seu design é acessível publicamente. O termo originou-se no contexto do desenvolvimento de software para designar uma abordagem específica para criar programas de computador. Hoje, no entanto, "código aberto" designa um conjunto mais amplo de valores - o que chamamos de "o modo de código aberto".

para montagem são o PVC, inox, alumínio, acrílicos entre outros dependendo da complexidade do projeto. A montagem estrutural se dá usando peças prontas e impressas em 3D, conexões eletrônicas simples e habilidades básicas de codificação. A Figura 11 captura um momento do processo de produção da estrutura do robô por impressora 3D e, logo abaixo, na Figura 12 esta encontra-se montada.

Figura 11. Estrutura do robô em produção por impressora 3D.



Fonte: CREATIVE ARDUINO.

Figura 12. Estrutura do robô Otto montada.

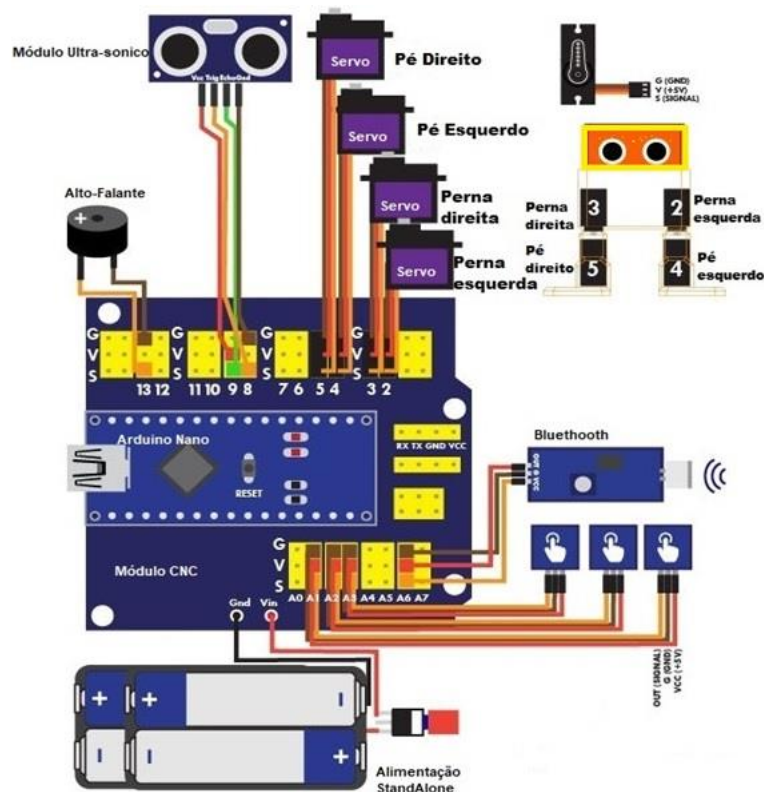


Fonte: elaboração do Autor.

A placa de circuito impresso, ou placa prototipadora de Otto contém todos os elementos necessários para a construção do robô, recebendo o

sistema microcontrolador, que lê os sensores instalados na placa e atua como motor de potência que fornece a corrente necessária para executar ações do Robô. A conexão com sensores se faz através de barramentos de acesso aos pinos disponíveis de entrada/saída (E/S) do microcontrolador. A Figura 13 apresenta esquematicamente a relação entre os elementos estruturais de Otto e os componentes eletrônicos, incluindo a placa prototipadora e suas possíveis conexões.

Figura 13. Representação esquemática do robô Otto: estrutura e eletrônica.



Fonte: OTTODIY.

A estrutura final complementada por dois softwares, i.e., o Transdutor Web, apresentado mais adiante, e o transdutor já incluído no robô Otto.

No desenvolvimento do dispositivo que se acopla à placa prototipadora do robô foi verificado um detalhe que pode traduzir-se em uma possível falha: a persistência em banco dos dados coletados está relacionada ao *clock* gerado pelo servidor. Dependendo da latência do meio de comunicação e protocolo utilizados pela rede, que pode variar muito a cada envio, os intervalos tornam-se assíncronos, detalhe que pode ser prejudicial na utilização desses dados em

um processamento de análise. Como solução para esse problema, associamos ao sistema um módulo RTC (*Real Time Clock*) para geração de *time* pelo próprio dispositivo, no momento da coleta e envio de dados ao servidor, tornando síncronos a persistência e os intervalos de amostragem das medidas efetuadas pelo sensor. O módulo RTC possui uma bateria que mantém as configurações feitas de data e hora, assim mantendo um relógio interno atualizado. O *clock* passa a ser útil e confiável.

O robô Otto executa movimentos a partir dos dados coletados pelo sensor de batimentos cardíacos, após o processo de fuzificação. Ele possui uma mecatrônica construtiva que recebe informações após o processo de fuzificação dos dados coletados pelos sensores de batimentos cardíacos (crisp fuzificado), onde cada valor crisp movimenta um dos três motores de passo contidos no robô. Usando como premissa a relação de BPM X Aceleração de movimentos, ou seja, quanto maior o valor de BPM coletado, mais rápido o robô se movimenta.

Com relação aos LEDs, o robô não possui leds acoplados diretamente, na verdade ele possui um artefato luminoso acoplado que faz essa função, onde, recebe os valores crisp após a fuzificação e relaciona cada um desses três valores a uma cor do sistema RGB, seguindo a mesma lógica dos movimentos do robô, só que com padrões luminosos, onde, quanto maior o valor de BPM lido, o artefato tende para o vermelho intenso, quanto menor esse valor a cor tende ao verde, variando entre uma e outra utilizando todo diagrama de cores RGB.

2.2 ENSAIOS PARA COLETA DE DADOS

Os ensaios consistem de aferições piloto de taxas de pulsação ou batimento cardíaco em diferentes condições de esforço somático e mental do sujeito experimental com o fim precípua de construir um banco de dados para suprir o sistema de processamento que foi desenvolvido nesta pesquisa.

O sujeito experimental, fonte dos dados biofísicos, é fisicamente saudável, sexo masculino, idade 44 anos, 1,90 m de altura, 102 kg, rotina de

atividade física quase regular, alimentação saudável. O ambiente em que foram realizadas as medidas é desprovido de estímulos sonoros salientes, condição positiva para que as medidas não sejam alteradas para além do que já decorre das diferentes condições vivenciadas.

Séries temporais das medidas do sensor de batimento cardíaco foram coletadas em três condições distintas, associadas a alterações específicas nas taxas de pulsação ou batimentos cardíacos. As condições de coleta encontram-se brevemente descritas abaixo:

2.2.1 Relaxamento

a) O autoexperimentador relaxa por cinco minutos, sentado, com estímulos ambientais sonoros reduzidos a um mínimo, percebidos como ruído de fundo, branco. O sensor nesta etapa, o sensor está instalado no dedo indicador da mão esquerda, desligado.

b) Com o sensor ligado, segue-se relaxamento por mais dez minutos, mesmas condições ambientais, olhos fechados; as medidas são continuamente recolhidas à nuvem correspondente. Fim da etapa de coleta de dados na condição RELAXAMENTO.

2.2.2 Exercício leve

a) O autoexperimentador relaxa por cinco minutos, sentado, com estímulos ambientais sonoros reduzidos a um mínimo, percebidos como ruído de fundo, branco. Nesta etapa, o sensor está instalado no dedo indicador da mão esquerda, desligado.

b) Com o sensor ligado, segue-se relaxamento por mais dez minutos, mesmas condições ambientais, olhos fechados; as medidas são continuamente recolhidas à nuvem correspondente. O sensor é desligado ao final desta etapa.

c) Com o sensor ainda desligado, inicia-se uma caminhada no ambiente, em ritmo normal, durante 5 minutos.

d) Liga-se o sensor durante a caminhada, que se estende até que se completem adicionais dez minutos; as medidas são continuamente recolhidas à nuvem correspondente. O sensor é desligado ao final deste tempo. Fim da etapa de coleta de dados na condição EXERCÍCIO LEVE.

2.2.3 Exercício cognitivo

a) O autoexperimentador relaxa por cinco minutos, sentado, com estímulos ambientais sonoros reduzidos a um mínimo, percebidos como ruído de fundo, branco. Nesta etapa, o sensor está instalado no dedo indicador da mão esquerda, desligado.

b) Com o sensor ligado, segue-se relaxamento por mais dez minutos, mesmas condições ambientais, olhos fechados; as medidas são continuamente recolhidas à nuvem correspondente. O sensor é desligado ao final desta etapa.

c) Com o sensor ainda desligado, inicia-se uma leitura leve; ao fim de alguns minutos, liga-se o sensor enquanto se prossegue com a leitura por adicionais dez minutos; as medidas são continuamente recolhidas à nuvem correspondente. O sensor é desligado ao final deste tempo. Fim da etapa de coleta de dados na condição EXERCÍCIO COGNITIVO.

2.3 PROCESSAMENTO DE DADOS

Para o desenvolvimento do sistema de processamento de nossos dados biofísicos, empregamos a rotina de fuzificação, conforme introduzida anteriormente, dentro de variáveis e parâmetros próprios ao objeto desta tese. Avançamos ainda para o desenvolvimento de regras de inferência *fuzzy* parametrizadas para cor, num processo que interpretamos como simulação de transdução, numa perspectiva eletrônica. Entendemos que o detalhamento de nosso sistema de processamento de dados entra no acervo de resultados originais da pesquisa, portanto, detalharemos na seção correspondente, mais adiante.

2.4 TECNOLOGIAS DE APOIO

Os quadros 7 e 8, apresentados a seguir, listam, descrevem e referenciam sucintamente as tecnologias de apoio disponíveis, empregadas na ancoragem de produção dos artefatos tecnológicos implementados e/ou criados nesta pesquisa.

Quadro 7. Tecnologias utilizadas para construção do simulador Transdutor Web.

PHP	O PHP (um acrônimo recursivo para PHP: Hypertext Preprocessor) é uma linguagem de <i>script open source</i> de uso geral, muito utilizada, e especialmente adequada para o desenvolvimento <i>web</i> e que pode ser embutida dentro do HTML.
Materialize	Trata-se de um sistema de <i>streaming</i> capaz de executar o <i>benchmark</i> de suporte à decisão TPC-H - um conjunto de critérios originalmente desenvolvido para o mundo dos <i>data warehouses</i> em lote. Este padrão inclui suporte para junções complexas - incluindo junções complicadas de múltiplas vias - em fontes de dados distintas. Permite o processamento de análises complexas em conjuntos de dados de <i>streaming</i> - acelerando o desenvolvimento de ferramentas internas, painéis interativos e experiências voltadas para o cliente.
Javascript	JavaScript é uma linguagem de <i>script</i> ou de programação que permite implementar recursos complexos em páginas da <i>web</i> .
jQuery	O jQuery é uma biblioteca JavaScript rápida, pequena e rica em recursos, provê de forma simplificada passagem e manipulação de documentos HTML, manipulação de eventos, animação e Ajax.
D3	É uma biblioteca desenvolvida em javascript, foi usada como recursos de desenvolvimento para criação do transdutor WEB desta tese.
HTML 5	Sistema de elaboração de códigos para manipulação de aplicativos e multimídia.
CSS	O CSS (<i>Cascading Style Sheets</i>) é um algoritmo que combina valores de propriedades provenientes de diferentes fontes;

	mecanismo empregado para adicionar estilo (por exemplo, fontes, cores, espaçamento) a documentos da <i>web</i> .
--	--

Quadro 8. Tecnologias usadas para a construção do dispositivo robótico.

Fritzing	Iniciativa de código aberto para desenvolver <i>software</i> CAD amador ou <i>hobby</i> para o <i>design</i> de <i>hardware</i> eletrônico. (https://fritzing.org/)
Processing	É um ambiente de programação simples, criado para facilitar o desenvolvimento de aplicativos orientados visualmente, com ênfase na animação e fornecendo aos usuários <i>feedback</i> instantâneo por meio da interação.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 FUZIFICANDO AS MEDIDAS DO PULSE SENSOR AMPED

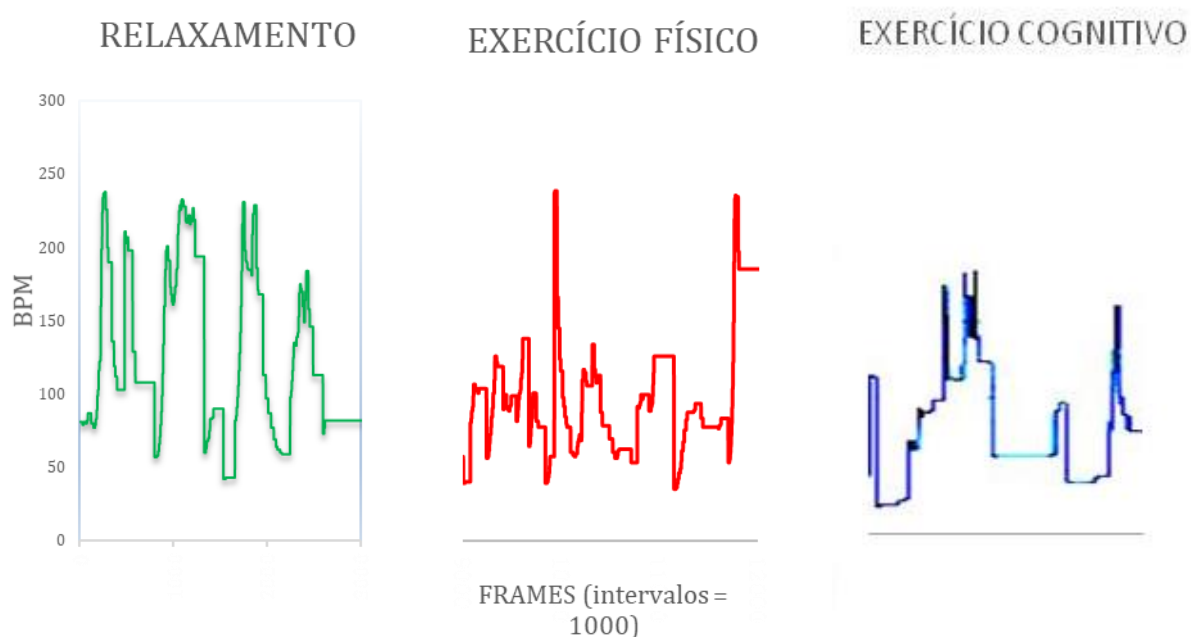
O sensor de pulsação, ou batimentos cardíacos, inicia as mensurações efetuando uma leitura indireta das variações de fluxo sanguíneo, sob a forma de medidas ou sinais ópticos diferenciais do fotopletismógrafo (PPG – photoplethysmograph) - sinais PPG, transmitindo-os para o sistema PULSE SENSOR AMPED associado ao microcontrolador Arduino, já mencionado anteriormente. Mais especificamente, o sistema processa o sinal de saída do sensor óptico, através da rotina Arduino Code V1.2 Walkthrough, que automatiza a detecção de picos de sinal contra o ruído, rotina está associada ao sensor, levando à série temporal de valores de taxa de pulsação correspondentes, em batimentos por minuto (BPM) (PEAK SIGNAL DETECTION).

O processamento *fuzzy* aqui apresentado se deu sobre os valores do sinal BPM, determinados pelo detector de pico de sinal PULSE SENSOR AMPED. O intervalo de leitura do sensor é de 2 ms e o intervalo de amostragem dos valores de leitura empregados para alimentação de nosso sistema de processamento *fuzzy* é fixado em 32 ms.

Abaixo, traçados em gráfico do sinal BPM (taxa de pulsação ou de batimentos cardíacos) representativos de cada condição de coleta. Foram

amostrados 3 mil frames das séries temporais de dados. Foram processados por fuzificação entre 19 mil e 25 mil *frames* em cada condição de coleta, o que corresponde a algo entre quatro e cinco minutos de registro contínuo por situação (Figura 14).

Figura 14. Amostras de 3 mil *frames* correspondentes ao comportamento das medidas BPM ao longo do tempo de registro, resultantes de processamento do sinal do pletoemógrafo (sinal PPG) e que reflete variações do fluxo sanguíneo na extremidade do dedo do experimentador, nas condições de relaxamento (esquerda), exercício físico (centro) e exercício cognitivo (direita).



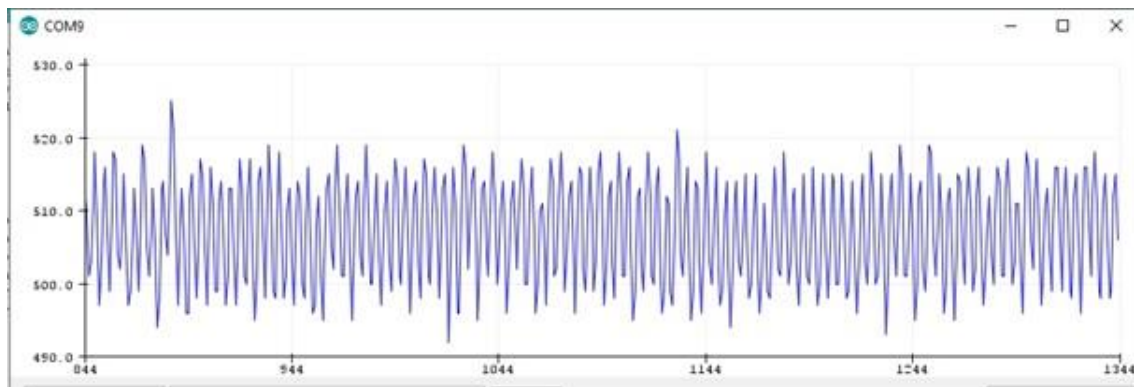
Fonte: dados experimentais.

As taxas de pulsação em medidas de batimentos por minuto (BPM), calculadas a partir dos sinais PPG por processamento efetuado via PULSE SENSOR AMPED, geram arquivos do tipo csv3, transpostos para planilhas Excel (Microsoft Co.) Um sinal elétrico fornecido pelo sensor de BPM,

³ Um arquivo de valores separados por vírgula (CSV) é um arquivo de texto sem formatação que contém uma lista de dados. Esses arquivos costumam ser usados para trocar dados entre aplicativos diferentes, por exemplo, bancos de dados e gerenciadores de contatos geralmente oferecem suporte a arquivos CSV.

Photoplethysmography (PPG) é uma técnica óptica simples usada para detectar mudanças volumétricos no sangue na circulação periférica, faz usos da luz infravermelha da baixo-intensidade (IR). Os gráficos gerados revelam o comportamento cíclico destas medidas, conforme evidente pelo exemplo da figura 15.

Figura 15. Sinal PPG para o cálculo das taxas de pulsação.



Fonte: elaboração do Autor

As tabelas 1 a 3 que se seguem abaixo, apresentam pequenas amostras destas sequências de valores. As sequências de *frames* em cada situação experimental constam como mídia anexa ao manuscrito de tese.

Tabela 1. Amostra das taxas de pulsação, ou batimentos cardíacos, calculadas por processamento das séries temporais sinais PPG, pela rotina Arduino Code V1.2 Walkthrough, associada ao sistema sensor de pulsação. Situação de relaxamento.

18:56:58.210 -> 81 BPM
 18:56:58.244 -> 81 BPM
 18:56:58.244 -> 81 BPM
 18:56:58.279 -> 81 BPM
 18:56:58.279 -> 79 BPM
 18:56:58.313 -> 79
 18:56:58.313 -> 79 BPM
 18:56:58.348 -> 79 BPM
 18:56:58.348 -> 79 BPM
 18:56:58.383 -> 79 BPM
 18:56:58.383 -> 79 BPM
 18:56:58.416 -> 79 BPM
 18:56:58.450 -> 79 BPM
 18:56:58.450 -> 79 BPM
 18:56:58.486 -> 79 BPM
 18:56:58.486 -> 79 BPM

18:56:58.517 -> 79 BPM
 18:56:58.551 -> 79 BPM
 18:56:58.551 -> 81 BPM
 18:56:58.585 -> 81

Tabela 2. Amostra das taxas de pulsação, ou batimentos cardíacos. Situação de exercício físico leve.

11:10:58.552 -> 83 BPM
 11:10:58.586 -> 83 BPM
 11:10:58.620 -> 83 BPM
 11:10:58.655 -> 83 BPM
 11:10:58.689 -> 83 BPM
 11:10:58.724 -> 83 BPM
 11:10:58.758 -> 83 BPM
 11:10:58.792 -> 187 BPM
 11:10:58.792 -> 187 BPM
 11:10:58.827 -> 187 BPM
 11:10:58.862 -> 187 BPM
 11:10:58.896 -> 187 BPM
 11:10:58.931 -> 191 BPM
 11:10:58.931 -> 191
 11:10:58.964 -> 191 BPM
 11:10:58.998 -> 191 BPM
 11:10:59.031 -> 191 BPM
 11:10:59.066 -> 191 BPM
 11:10:59.100 -> 191 BPM
 11:10:59.134 -> 191 BPM

Tabela 3. Amostra das taxas de pulsação, ou batimentos cardíacos. Situação de exercício cognitivo.

18:56:58.210 -> 81 BPM
 18:56:58.244 -> 81 BPM
 18:56:58.244 -> 81 BPM
 18:56:58.279 -> 81 BPM
 18:56:58.279 -> 79 BPM
 18:56:58.313 -> 79 BPM
 18:56:58.313 -> 79 BPM
 18:56:58.348 -> 79 BPM
 18:56:58.348 -> 79 BPM
 18:56:58.383 -> 79 BPM
 18:56:58.383 -> 79 BPM
 18:56:58.416 -> 79 BPM
 18:56:58.450 -> 79 BPM
 18:56:58.450 -> 79 BPM
 18:56:58.486 -> 79 BPM
 18:56:58.486 -> 79 BPM

18:56:58.517 -> 79 BPM

18:56:58.551 -> 79 BPM

18:56:58.551 -> 81 BPM

18:56:58.585 -> 81 BPM

18:56:58.585 -> 81 BPM

O objetivo do algoritmo (Apêndice A) para executar a dimensão *fuzzy* em nosso sistema de processamento *fuzzy* dos dados é determinar para os números *crisp*, correspondentes à entrada original, os preditivos *a*, *m* e *b*.

O primeiro passo para isso é munir-se de uma base especialista. A cada termo linguístico de qualificação das medidas de entrada originais – adotado segundo visão técnica do especialista responsável por associar quantidades a qualidades – associa-se um intervalo de valores de medidas, que se torna a base de uma função de representação geométrica, ou função de associação, em geral triangular, onde **a** significa um dos vértices de base do triângulo (de menor valor), **b** significa o segundo vértice de base do triângulo (de maior valor), e **m** o valor na abscissa que compõe par ordenado com o grau de pertinência máximo (1), que, por sua vez, marca o ápice da curva funcional.

Abaixo a Tabela 4 ilustra correspondência quanti-qualitativa especialista, relacionando termos semânticos a intervalos de medidas numericamente parametrizadas, tomando-se como partida os valores de saída do sensor. São os conjuntos *fuzzy* definidos como grandezas *a*, *m* e *b*, ou seja, como parâmetros das funções triangulares de pertinência ou pertencimento *fuzzy* que derivam de medidas do sensor, reconhecidas pelos especialistas, e sobre as quais estes estabelecem correspondências com os termos linguísticos diagnósticos, sob a forma de jargões técnicos.

O intervalo $[a,b]$ correspondente à base do triângulo geométrico, correspondente à função de associação com o termo linguístico, compõe um conjunto *fuzzy*. Em algum ponto do intervalo ou conjunto *fuzzy*, encontra-se o terceiro parâmetro, *m*, que indica o(s) valor(es) ao(s) qual(is) a visão especialista atribui grau máximo de pertencimento ao termo linguístico.

Os valores definidos como *m* na função de associação *fuzzy* são também referidos como valores de escala. Define-se assim uma tabela que é empregada como base do processo de fuzificação de medidas obtidas experimentalmente (Tabela 4), a fonte para definição da tabela, valores da

função de associação e escala de valores, foi baseada em BOENTE, (2013), e os termos linguísticos foram sugeridos por colaborador externo, especialista em cardiologia.

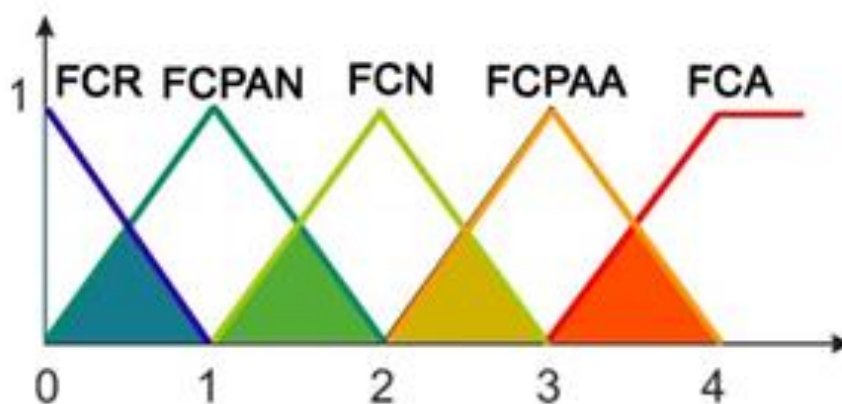
Tabela 4. Tabela especialista para fuzificação, elaborada a partir de intervalos de valores normalizados do sensor de pulsação.

Valores (a,m,b) da função de associação	Escala (valores m)	Termo linguístico
(0, 0, 1)	0	Frequência cardíaca reduzida (FCR)
(0, 1, 2)	1	Frequência cardíaca levemente abaixo do normal (FCPAN)
(1, 2, 3)	2	Frequência cardíaca normal (FCN)
(2, 3, 4)	3	Frequência cardíaca levemente aumentada (FCPAA)
(3, 4, 4)	4	Frequência cardíaca demasiadamente aumentada (FCA)

Fonte: elaboração do Autor adaptado de Boente

Segue abaixo o correspondente gráfico (Figura 16).

Figura 16. Funções de pertinência das medidas de taxa de pulsação (ou frequência cardíaca) aos termos linguísticos.



Fonte: elaboração do Autor. As abreviações encontram-se expandidas na Tabela 4.

Cada medida BPM do sensor - ou valor numérico de entrada *crisp* - é matematicamente identificável quanto à pertinência a estes intervalos

geométricos associada a cada um dos termos linguísticos. Os graus de pertencimento para cada termo são definidos pela correspondência da medida, na abcissa, com o valor do grau de pertencimento (intervalo de zero a um) intersectado na ordenada.

Para tanto, toma-se como base o cruzamento do par ordenado abcissa com o par ordenado da escala de pertencimento (ordenada), em algum ponto ao longo das arestas de subida, e de descida da curva (triangular) funcional (vide conceitos introdutórios *fuzzy* nesta tese).

Os graus de pertencimento de um dado valor ou medida ao termo linguístico varia no intervalo entre 0 e 1, este último indicando pertinência total com o termo qualificador da variável *fuzzy* em questão.

Frequentemente, uma dada medida (variável *crisp*) do sensor pertence a mais de um espaço geométrico funcional linguístico - também dito conjunto *fuzzy* - quando examinada no gráfico de funções de pertinência; quando isso acontece, os graus de pertencimento são, quase sempre, diferentes entre os termos linguísticos.

Chamamos a este conjunto de pertinências para uma dada variável numérica (dado de entrada *crisp*) de valores de verdade *fuzzy*, pois, com pesos quase sempre diferentes, todos qualificam o valor *crisp* original.

Nesta pesquisa, como sabemos, as medidas de interesse provêm de dispositivo sensor de taxa de pulsação (ou frequência cardíaca, conforme mais comumente adotado pelos médicos especialistas) - e os termos linguísticos da tabela inferencial dos especialistas qualificam os sinais do sensor segundo suas expertises. Entendemos que as três condições de coleta utilizadas, exercícios físico e cognitivo e relaxamento, determinam medidas inscritas nos conjuntos *fuzzy* e, portanto, também nos qualificadores, ou termos linguísticos da função especialista (Tabela 4).

No entanto, é preciso fazer um estudo de equivalências, seguindo a própria base lógica *fuzzy*. Para tanto, é necessário aplicar ao intervalo de medidas provenientes do sensor de pulsação em cada condição de coleta, as regras de fuzificação tomando-se como base os conjuntos *fuzzy* especialista (Tabela 4 e Figura 16).

Através da combinação das duas curvas funcionais – especialista e experimental – a ideia é chegar às bases matemáticas de equivalência por grau

de pertinência (valores de verdade *fuzzy*), utilizando-se de uma manipulação multifuncional, entre as medidas de entrada experimentais *crisp* e os qualificadores, ou termos linguísticos, especialistas.

O procedimento de fuzificação dos intervalos de medidas *crisp* do sensor, adotado para o conjunto de mensurações extraído em cada condição de coleta, encontra-se resumido adiante.

Antes, apresente-se a chave de definições para os índices empregados:

i: abreviação para indivíduo, ou seja, cada valor numérico em uma sequência de medidas biofísicas obtidas pelo sensor, numa das condições de coleta de dados adotada.

A linha de tempo total associada à sequência de medidas obtidas a intervalos regulares de 2 ms corresponde ao tempo de registro (t_s). A sequência de valores *i* define-se então (em t_s) como $i_1, i_2, i_3, \dots, i_n$.

qi: abreviação para quantidade de indivíduos que participam da experiência.

nce: abreviação de Número (quantidade) de códigos de escala termos linguísticos associados aos intervalos de valores *crisp* de entrada, representadas como N (medidas do sensor), tomando-se como base o julgamento técnico de especialistas.

mnc: abreviação para maior número *crisp* encontrado.

Abaixo as regras matemáticas da fuzificação, adaptadas a partir de regras booleanas SE-ENTÃO, mencionadas na introdução, e que nos permitem definir os valores **a**, **m** e **b** da função de associação dos três conjuntos de medidas numéricas, definidos, cada um por uma das três condições experimentais de coleta de dados, relativamente à curva multifuncional de pertinência especialista.

a) Para obtenção de valores **a**:

$$\frac{\sum (\text{Se } i_1 > 0; i_1 - 1; i_1) + (\text{Se } i_2 > 0; i_2 - 1; i_2) + (\text{Se } i_3 > 0; i_3 - 1; i_3) \dots + (\text{Se } i_n > 0; i_n - 1; i_n)}{q_i}$$

b) Para obtenção de valores **m**:

$$\frac{\sum i}{q_i}$$

c) Para obtenção de valores **b**:

$$\frac{\sum (Se\ i_1 < nce; i_1+1; i_1) + (Se\ i_2 < nce; i_2+1; i_2) + (Se\ i_3 < nce; i_3+1; i_3) \dots + (Se\ i_n < nce; i_n+1; i_n)}{q_i}$$

A defuzificação devolve ao processamento lógico um número *crisp*, no entanto, este incorpora a fuzificação baseada nas funções de associação especialistas e nas regras de inferência acima apresentadas. Segue-se operação em dois estágios para a definição do valor defuzificado, *crisp*, que corresponde à saída num processamento completo *fuzzy*.

a) Teremos, assim, o número *crisp* por defuzificação definido por:

$$\text{número } \mathit{crisp} = \frac{a + (2 * m) + b}{nce}$$

b) Por fim, chega-se ao número *crisp* normalizado

$$\text{número } \mathit{crisp} \text{ normalizado} = \frac{\text{número } \mathit{crisp}}{mnc}$$

A Tabela 5 exhibe intervalos *fuzzy* experimentais, expressos como valores a, m, b e os números *crisp* correspondentes, definidos para cada condição de coleta dos dados empregada neste estudo.

Tabela 5. Média de Fuzificação das medidas experimentais em cada uma das condições de coleta empregadas no estudo.

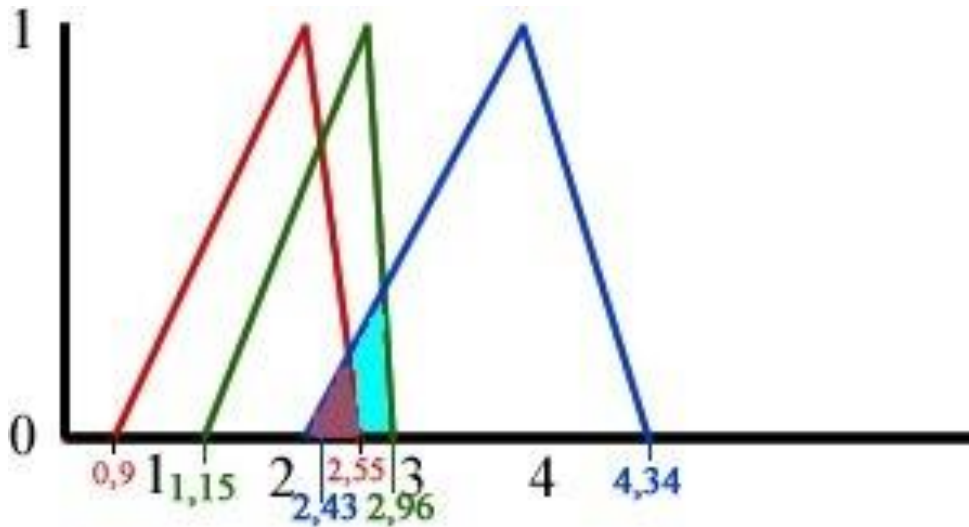
a	m	b	crisp	Condição de coleta
2,43	1	4,34	1,75	Relaxamento
0,9	1	2,55	2,22	Exercício físico leve
1,15	1	2,96	1,89	Exercício cognitivo

Fonte: elaboração do Autor.

Conforme tabela 5, a, m e b representam os números *fuzzy* que consiste na representação gráfica triangular dos dados fuzificados. Para a representação da condição do experimento relaxamento, o valor a (2,43) que representa o valor inicial da triangulação do referido experimento, onde m(1) representa o ápice desta representação e por fim, o b(4,34) representa o ponto

de declínio do triângulo, sucessivamente essa metodologia se aplica a outras categorias. O número crisp aqui representa o número “concreto”.

Figura 17. Representação triangular dos números *fuzzy* dos experimentos da tese








Fonte: elaboração do Autor.

3.2 TRANSDUTOR WEB

A partir daqui a ideia foi associar aos parâmetros *fuzzy* a , m , b definidos para cada condição de coleta, uma cor associada a sua sobreposição funcional com as funções de pertinência *fuzzy* especialistas. A cor é resultado da definição das pertinências por cruzamento com as funções de associação especialistas crescidas a partir do conjunto de termos linguísticos, apresentadas na Figura 8, e dos intervalos de medidas BPM, onde BPM dá-se por números CRISP. Abaixo, Tabela 6, a parametrização por cor digital expressa em código HEXA (por conversão dos valores RGB) associada à cada função de pertinência (ou conjunto *fuzzy*) especialista, conforme já apresentado (Tabela 4).

Tabela 6. Correspondências para parametrização dos termos linguísticos na tabela especialista em cores RGB/HEXA.

Triang fuzzy	Escala	Termo linguístico	Cor	HEXA
(0, 0, 1)	0	Frequência cardíaca reduzida (FCR)		#2D00B2
(0, 1, 2)	1	Frequência cardíaca levemente abaixo do normal (FCPAN)		#008C69
(1, 2, 3)	2	Frequência cardíaca normal (FCN)		#A3CB00
(2, 3, 4)	3	Frequência cardíaca levemente aumentada (FCPAA)		#FF9900
(3, 4, 4)	4	Frequência cardíaca demasiadamente aumentada (FCA)		#FF0000

Fonte: elaboração do Autor.

A tabela 6, apresenta a triangulação *fuzzy*, um triplé (a, m e b) é conhecido como Número *fuzzy* Triangular , onde "a" representa o menor valor provável, "m" o valor mais provável e "b" o maior valor possível de qualquer *fuzzy* evento, no caso as escalas apresentadas (0 a 4) que associadas aos termos linguísticos, (FCR, FCPAN, FCN, FCPAA E FCA) que associados as cores básicas RGB, são interpretadas por correspondentes hexadecimais, ou seja, a parametrização da série de dados BPM, que associa correspondentes visuais aos valores *crisp* destas medidas que saem do sensor, acaba por gerar uma sucessão de cores ao longo do tempo, em lugar de uma sucessão de números. A rotina programática processual deste sistema foi batizada como transdutor web, disponível em código aberto na *web*, conforme compartilhado na figura 18.

Figura 18. Página de abertura do sistema Transdutor Web.



Fonte: elaboração do Autor.

Vimos que o algoritmo de fuzificação gera três valores numéricos para cada valor de entrada. A variável N referência o valor da medição de entrada via sensor, imediatamente posterior a M . Com base nesse algoritmo aplica-se a função $f(x)$, onde:

se $f(x) < n$ (frame ou timestamp) gráfico na cor vermelha (R);

$\$rgbABPM = \text{"Red"}; \$hexABPM = \text{"#FF0000"};$

se $f(x) = n$ (frame ou timestamp) gráfico na cor verde (G);

$\$rgbMBPM = \text{"Green"}; \$hexABPM = \text{"#008C69"};$

se $f(x) > n$ (frame ou timestamp) gráfico na cor azul (B).

$\$rgbBBPM = \text{"blue"}; \$hexBBPM = \text{"#FF0000"};$

Para cada valor *crisp* de leitura do sensor numa série de valores (*frames*), as grandezas a , m e b geradas por correspondência, pós-fuzificação, podem ser representadas graficamente como curvas delineadas ao longo do tempo de registro. Séries de valores R (a), G (m) e B (b), contribuem para as curvas correspondentes. Em lugar da curva com medidas *crisp* de entrada, originais, três curvas com os parâmetros *fuzzy*, conforme veremos logo adiante. Podemos acompanhar o desdobramento da curva de valores BPM em parâmetros de fuzificação. A tabela 7, abaixo, apresenta um pequeno segmento da série de medidas do sensor, na condição de relaxamento, e seus correspondentes *fuzzy*, a , m , b , definidos por nosso processador.

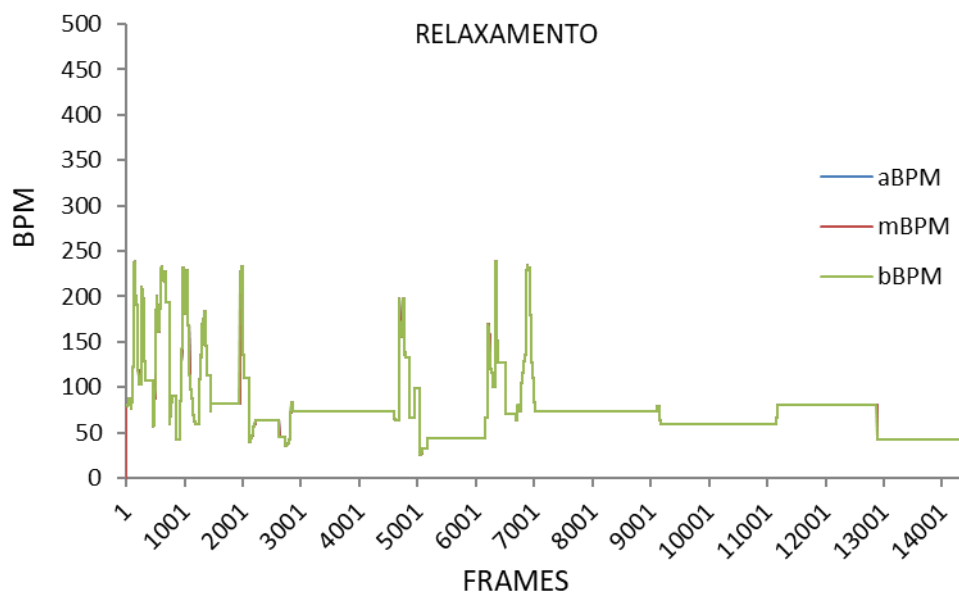
Tabela 7. Segmento da tabela de dados extraídos por modelagem na dimensão *fuzzy* em nosso sistema. Os primeiros oito frames de registro e tratamento pelo Transdutor Web na condição relaxamento.

Ts	ValorBPM	aBPM	mBPM	bBPM	rgbABPM	rgbMBPM	rgbBBPM	hexABPM	hexMBPM	hexBBPM
18:56:57.838	81	0	81	81	Red	Green	Green	#FF0000	#008C69	#FF0000
18:56:57.871	81	81	81	81	Green	Green	Green	#008C69	#008C69	#FF0000
18:56:57.905	81	81	81	81	Green	Green	Green	#008C69	#008C69	#FF0000
18:56:57.940	81	81	81	81	Green	Green	Green	#008C69	#008C69	#FF0000
18:56:57.973	81	81	81	81	Green	Green	Green	#008C69	#008C69	#FF0000
18:56:58.006	81	81	81	81	Green	Green	Green	#008C69	#008C69	#FF0000
18:56:58.040	81	81	81	81	Green	Green	Green	#008C69	#008C69	#FF0000
18:56:58.073	81	81	81	81	Green	Green	Green	#008C69	#008C69	#FF0000

Fonte: elaboração do Autor.

A Figura 19 ilustra a representação gráfica das sequências de valores a, m e b correspondentes, obtidas na condição de relaxamento, e processadas pelo Transdutor Web. A fuzificação dos dados *crisp* originais provenientes do sensor, conduz a séries de medidas pós-fuzificação correspondentes, ou seja, aBPM, mBPM e bBPM (a, m, b) representadas pelos três traçados combinados azul, vermelho e verde, respectivamente.

Figura 19. Comportamento dos valores a, m e b, que expressam a dimensão *fuzzy* associada aos valores *crisp* BPM originais de entrada, obtidos na condição de relaxamento.



Fonte: elaboração do Autor.

O processo de fuzificação pelo transdutor web avança para a etapa de parametrização dos valores numéricos correspondentes a, m, b para o modelo de cores digitais RGB, e deste para códigos HEXA, sistema adotado para especificação de cores em ambientes html/css. As colunas à direita na tabela 6, apresentam estas relações para cada conjunto *fuzzy* determinado para cada medida BPM efetivada pelo sensor, mantendo a correspondência com os valores a, m, b.

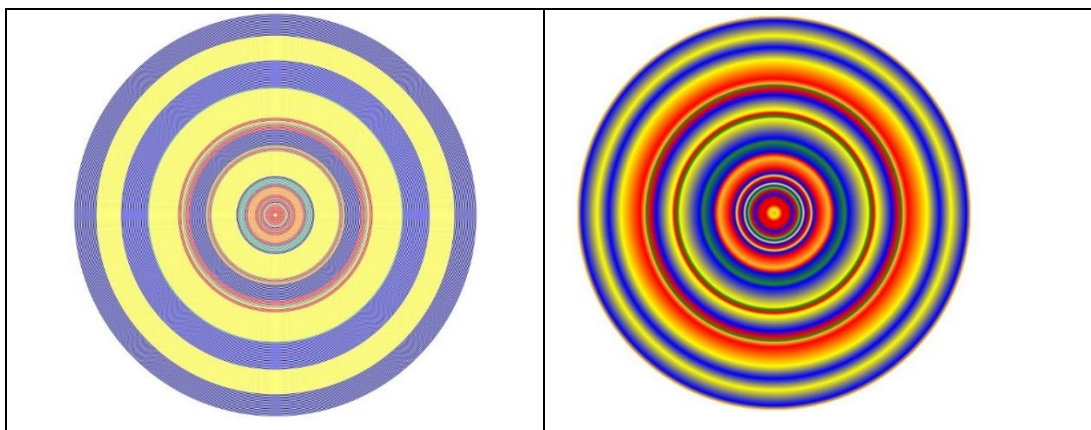
A partir daí, prosseguir com o desenvolvimento de um sistema de visualização gráfica dos dados dependente de cores de composição RGB se tornou relativamente fácil, intuitivo, convidativo. O processamento subsequente dos dados leva a um resultado gráfico que se constitui em novo sistema de visualização no qual uma nova base cognitiva perceptual é demandada do

observador. Cor e forma passam à condição de parâmetros centrais de uma experiência com os dados biofísicos oriundos do sensor que se pretende tão imagética quanto cognitiva. O eixo de intervalos fixos de tempo, indexado como sequências 1, 2, 3... de *frames*, deixa de definir a abcissa das curvas de representação gráfica de nossas séries de dados, e passa a figurar como raio de um círculo, em que o passar do tempo se dá de forma não convencional, da periferia para o centro, de maneira a permitir o surgimento de um campo de exploração sensorial visual.

Como raios circulares concêntricos, a sucessão de cores é definida halo a halo pela parametrização RGB/HEXA dos valores *a*, *m* e *b*. A correspondência de cores com os valores *crisp* originais segue o disposto na Tabela 6, como parametrização do sistema de regras de fuzificação dos valores de frequência de batimento cardíaco, a partir de referências especializadas.

As cores correspondem intuitivamente ao aumento da variável qualitativa, no caso a frequência BPM, de forma que o azul corresponde a baixa frequência de batimentos cardíacos e o vermelho às taxas elevadas de batimento cardíaco, estas últimas tipicamente atingidas em condições de exercício físico por exemplo, ou de grande excitação/alerta atencional/emocional (Figura 20).

Figura 20. Visualização em mandala do comportamento dos dados fuzificados e parametrizados para o sistema RGB/HEXA. Situação de relaxamento.



Fonte: elaboração do Autor.

Na Figura 20, dois sistemas de transição entre os círculos concêntricos de cor são experimentados: um que perfaz a transição de forma abrupta, em degrau (gráfico à esquerda), e o outro que simula um *fade out*, uma rampa de transição entre as cores (gráfico à direita), com sobreposição parcial, por transparência, na borda de encontro dos halos. Ambas as mandalas apresentam predominantemente uma alternância entre amarelo e azul, ou seja, aceleração moderada e desaceleração da variável experimental frequência de batimentos cardíacos.

Com menos frequência, porém, observa-se transições para faixas mais quentes, do alaranjado-vermelho, e que são destacadas na mandala da direita, em razão do efeito de arraste provocado pelo *fade out*. A conveniência de efeitos como esse e outros pode e precisa ser decidida pelo observador/experimentador, que determinará o refinamento ou ajuste em suas propriedades. A tabela 8, abaixo, apresenta um pequeno segmento da série de medidas do sensor, na condição de exercício físico leve, e seus correspondentes *fuzzy*, a, m, b, definidos por nosso processador.

Tabela 8. Segmento da tabela de dados extraídos por modelagem na dimensão *fuzzy* em nosso sistema. Os primeiros oito frames de registro e tratamento pelo Transdutor Web na condição exercício físico leve.

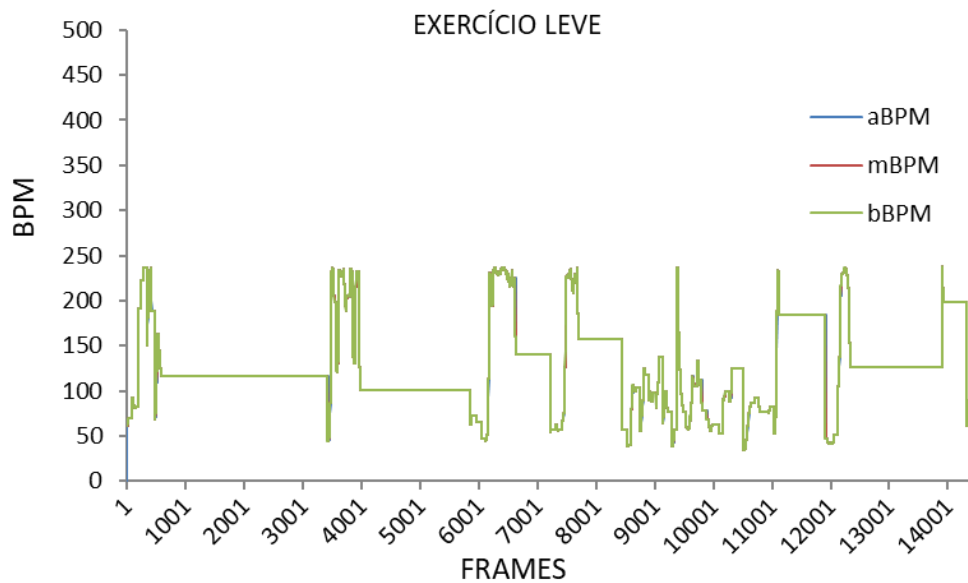
FRAMES	valorBPM	aBPM	mBPM	bBPM	rgbABPM	rgbMBPM	rgbBBPM	hexABPM	hexMBPM	hexBBPM
11:10:52.386	61	0	61	61	Red	Green	Green	#FF0000	#008C69	#FF0000
11:10:52.420	61	61	61	61	Green	Green	Green	#008C69	#008C69	#FF0000
11:10:52.454	61	61	61	61	Green	Green	Green	#008C69	#008C69	#FF0000
11:10:52.489	61	61	61	61	Green	Green	Green	#008C69	#008C69	#FF0000
11:10:52.525	61	61	61	61	Green	Green	Green	#008C69	#008C69	#FF0000
11:10:52.558	61	61	61	61	Green	Green	Green	#008C69	#008C69	#FF0000
11:10:52.593	61	61	61	61	Green	Green	Green	#008C69	#008C69	#FF0000
11:10:52.627	61	61	61	61	Green	Green	Green	#008C69	#008C69	#FF0000

Fonte: elaboração do Autor.

A Figura 21, à semelhança do que foi realizado para a situação de relaxamento, ilustra a representação gráfica das sequências de valores a, m, b correspondentes, obtidas na condição de exercício físico leve, e processadas pelo Transdutor Web. A fuzificação dos dados *crisp* originais provenientes do sensor, conduz a séries de medidas pós-fuzificação correspondentes, ou seja,

aBPM, mBPM e bBPM (a, m, b) representadas pelos três traçados combinados (azul, vermelho e verde, respectivamente), e que entram no lugar do traçado *crisp* da Figura 14 (ao centro).

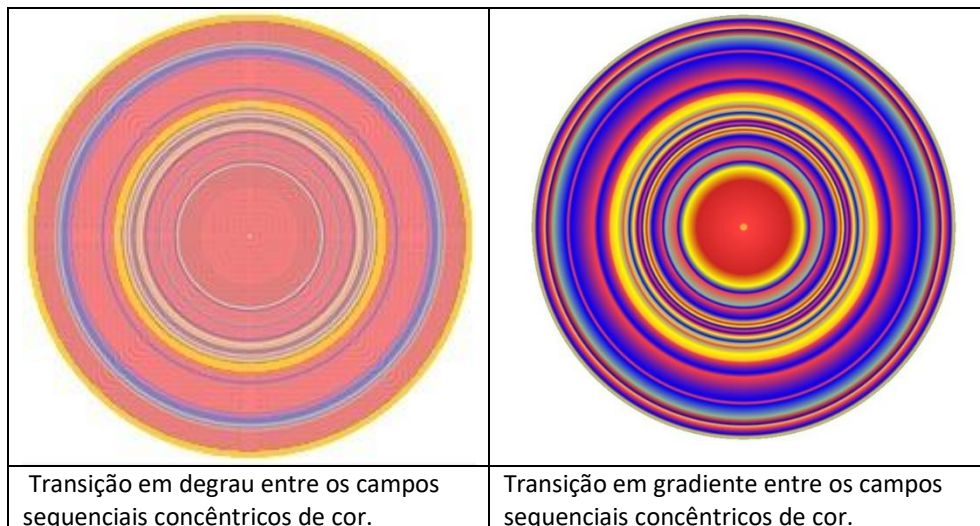
Figura 21. Comportamento dos valores a, m, b, que expressam a dimensão *fuzzy* associada aos valores *crisp* BPM originais de entrada, obtidos na condição de exercício físico leve.



Fonte: elaboração do Autor.

Conforme procede-se para a transdução e visualização dos dados da situação de relaxamento, também o fizemos para a condição de exercício físico, resultando nas mandalas apresentadas em duas versões, figura 22.

Figura 22. Comportamento dos dados fuzificados e parametrizados para o sistema RGB/HEXA em situação de exercício físico leve.



Fonte: elaboração do Autor.

Nesta condição, considerando-se a mandala à esquerda, que trabalha as transições em degrau, constatamos a predominância das cores quentes, que, tecnicamente, sinalizam frequência cardíaca aumentada, relacionável à condição clínica eventualmente referida como taquicardia.

Destaca-se o evidente contraste com a mandala correspondente à condição de relaxamento figura 19, onde se vê a predominância de cores (azul e amarelo) que referencia o domínio de frequências BPM mais baixas no registro pelo sensor.

O fato destes raios quentes, correspondentes à aceleração estarem intercalados, com certa frequência, com halos frios, leva a arraste exagerado do azul em regiões da transição em rampa envolvendo tons do azul, conforme pode-se constatar pela mandala à esquerda.

O observador pode ser conduzido à equivocada sugestão de predomínio de frequências BPM mais baixas se contemplado por esta imagem de forma desavisada.

Trata-se, pois, de um exemplo que bem ilustra a necessidade de ajuste fino de propriedades destes efeitos visuais dentro do sistema processador Transdutor Web, que se abre coerentemente para esta intervenção pelo especialista.

Por fim, chegamos aos resultados obtidos na condição de exercício cognitivo.

A tabela 9, abaixo, apresenta um pequeno segmento da série de medidas do sensor, na condição de exercício cognitivo, e seus correspondentes *fuzzy*, a, m, b, definidos por nosso processador.

Tabela 9. Segmento da tabela de dados extraídos por modelagem na dimensão *fuzzy*. Os primeiros oito frames de registro e tratamento pelo Transdutor Web na condição exercício cognitivo.

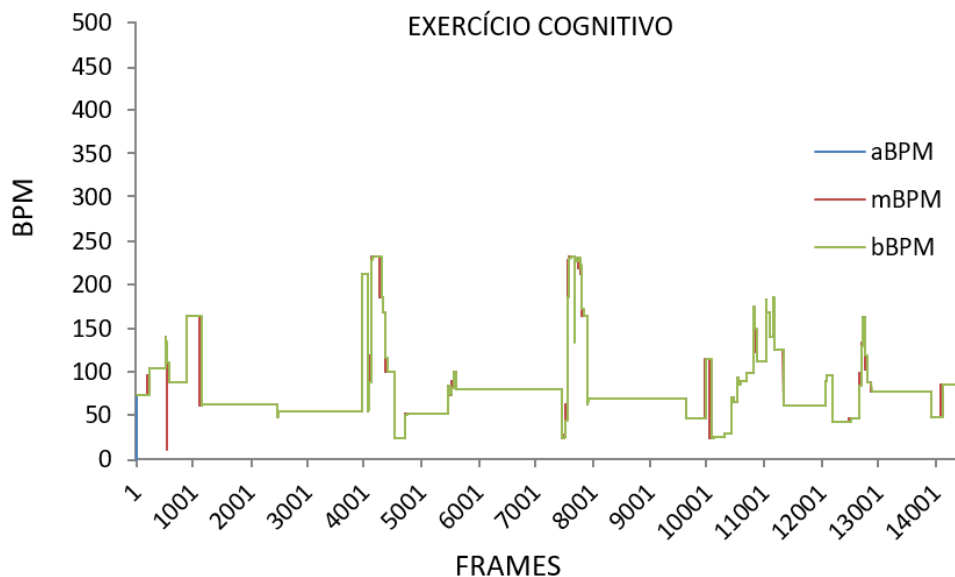
ts	valorBPM	aBPM	mBPM	bBPM	rgbABPM	rgbMBPM	rgbBBPM	hexABPM	hexMBPM	hexBBPM
15:40:59.945	72	0	72	72	Red	Green	Green	#FF0000	#008C69	#008C69
15:40:59.979	72	72	72	72	Green	Green	Green	#008C69	#008C69	#008C69
15:41:00.013	72	72	72	72	Green	Green	Green	#008C69	#008C69	#008C69
15:41:00.047	72	72	72	72	Green	Green	Green	#008C69	#008C69	#008C69
15:41:00.080	72	72	72	72	Green	Green	Green	#008C69	#008C69	#008C69
15:41:00.113	72	72	72	72	Green	Green	Green	#008C69	#008C69	#008C69
15:41:00.146	72	72	72	72	Green	Green	Green	#008C69	#008C69	#008C69
15:41:00.181	72	72	72	72	Green	Green	Green	#008C69	#008C69	#008C69

Fonte: elaboração do Autor.

A figura 23, à semelhança do que foi realizado para as situações de relaxamento e exercício físico leve, ilustra a representação gráfica das sequências de valores a, m e b correspondentes, obtidas na condição de exercício cognitivo, e processadas pelo transdutor web.

A fuzificação dos dados *crisp* originais provenientes do sensor, conduz a séries de medidas pós-fuzificação correspondentes, ou seja, aBPM, mBPM e bBPM (a, m, b) representadas pelos três traçados combinados (azul, vermelho e verde, respectivamente), e que entram no lugar do traçado *crisp* da Figura 14 (à direita).

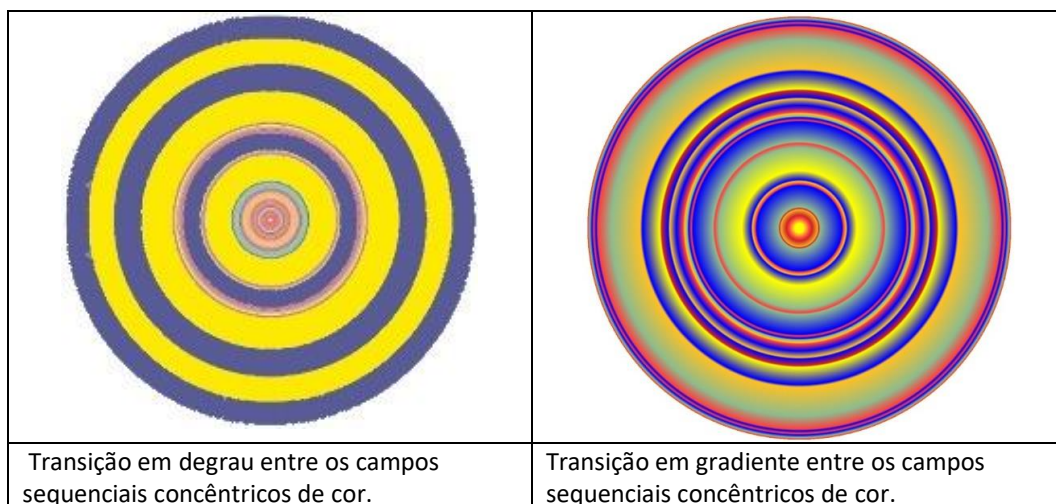
Figura 23. Comportamento dos valores a, m, b, que expressam a dimensão *fuzzy* associada aos valores *crisp* BPM originais de entrada, obtidos na condição de exercício cognitivo.



Fonte: elaboração do Autor.

Conforme procedemos para a transdução e visualização dos dados das situações de relaxamento e exercício físico leve, também o fizemos para a condição de exercício cognitivo, resultando nas mandalas apresentadas em duas versões conforme figura 24.

Figura 24. Comportamento dos dados fuzificados e parametrizados para o sistema RGB/HEXA em situação de exercício cognitivo.



Fonte: elaboração do Autor.

Ambas as mandalas da Figura 24, acima, apresentam predominantemente uma alternância entre tons de vermelho, amarelo, azul e suas misturas, como alaranjado, roxo e verde, ou seja, indicando que aceleração, aceleração moderada e desaceleração da variável experimental frequência de batimentos cardíacos estão presentes na situação de exercício cognitivo.

O padrão imagético obtido parece combinar propriedades das mandalas definidas para as condições de relaxamento e de exercício físico leve, apresentadas anteriormente. Com frequência, em ambos os tratamentos de transição, degrau e rampa, observa-se as misturas das cores básicas, revelando incidência importante de valores BPM intermediários entre estados típicos, e justificando, mais uma vez, o tratamento por fuzificação empregado.

Podemos concluir que a visualização gráfica cartesiana das medidas BPM originais, sistema duro de linhas de valores abstratos, cede lugar à visualização de um corpo circular colorido, a mandala. No processo, as medidas do aparelho sensor adquirem nebulosidade e deixam de representar quantidades puramente matemáticas à leitura cognitiva, para figurar também como estímulos multimodais, nos quais as faixas de valor quantitativo, já tornadas nebulosas pela fuzificação, ganham novo atributo de complexidade, incorporando propriedades de provocação estética sensorial.

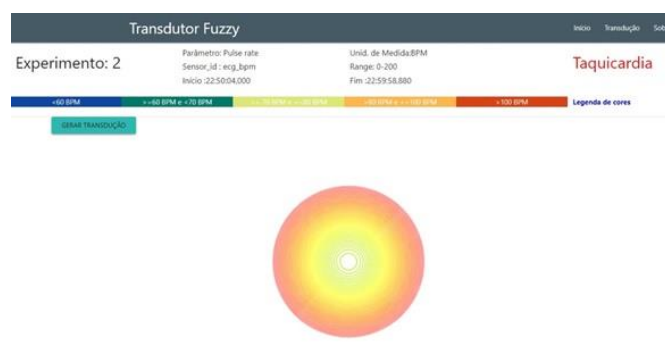
A transformação dos números de entrada do sensor em números *fuzzy* a , m e b confere inegavelmente um aumento na complexidade do sistema de medida. No entanto, as parametrizações inerentes ao sistema de fuzificação podem suavizar a representação, a percepção desta complexidade, realçando-as como tendências dentro de uma lógica mais integrada dos dados enquanto emergentes de um sistema sabidamente complexo, e menos dependente das abstrações numéricas demandadas quando da análise das curvas funcionais experimentais tradicionais.

A parametrização, ou parametrizações sucessivas diretamente derivadas dos parâmetros de medida do processamento por lógica *fuzzy* permitem que a visualização dos dados, ainda que movida por percepção sensorial direta, encontre-se respaldada pelas bases lógico matemáticas que dão fidelidade às medidas.

A natureza cíclica de intervalos ou faixas de variação dos dados, por exemplo, pode ser percebida através de repetição de padrões de alternância das cores. É importante frisar que existem nuances que diferenciam tons amarelos, por exemplo, entre si, e assim para todas as cores, e que podem ser detectados, mesmo à experiência sensorial, caso seja desejo, uma leitura mais detalhada, mediante ampliação por exemplo da imagem.

Um exemplo deste detalhamento está representado pela mandala gerada por processamento de um período do tempo de registro e coleta de dados na condição de exercício físico leve, na Figura 25.

Figura 25. Apresentação de parte do processamento pelo sistema de Transdução WEB, condição de exercício físico leve, correspondente à fase taquicárdica do registro (anéis a meio caminho entre perímetro e centro da mandala de exercício leve (vide Figura 21).



Fonte: elaboração do Autor.

Além deste recurso de ampliação de segmentos do registro total, o sistema aqui desenvolvido permite a identificação de comportamentos de predominância e as rupturas de padrão, ruídos e acontecimentos abruptos, como aqueles que se espera associados a perturbações mecânicas do sensor provocadas por movimentação do membro ao qual se encontra acoplado.

Ao conferir um aumento de complexidade ao sistema, o transdutor web o faz sem romper com a natureza técnica informacional dos dados. Agrega valor à análise pois favorece avaliações mais intuitivas, menos dependentes de números, e mais representativas de associações sistêmicas.

O transdutor web se revela, portanto, como uma IHC que acrescenta às qualidades enquanto processador *fuzzy*, um sistema de *design* e visualização

de dados, com provável inserção no campo contemporâneo do *design* de dados (DATA AND DESIGN THINKING, 2019).

O processamento de dados efetuado pelo Transdutor Web leva do número à cor; por esta razão torna-se classificável como sistema de simulação de transdução, esta, por fim, concretizada na perspectiva do observador.

Ainda, ao suprimir a representação de valores defuzificados *crisp*, o processador transdutor web se estabelece, de forma original e um tanto contraintuitiva, como um sistema de apresentação técnica e sensorial de dados de fuzificação que se limita a meio caminho do processo clássico definido como processamento *fuzzy*.

3.3 O CORAÇÃO ROBÓTICO

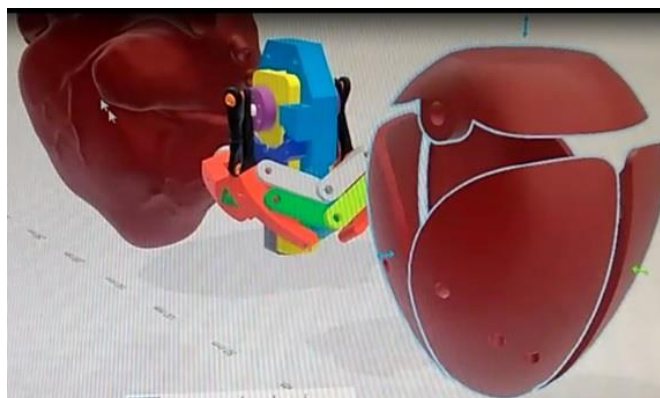
O artefato coração robótico tem como finalidade constituir-se num sistema robótico de visualização do comportamento de variáveis biofísicas, especialmente pulsação e/ou batimentos cardíacos. Sua construção se deu em etapas: concepção, modelagem, impressão e mecatrônica. Aspectos da modelagem digital do coração robótico são apresentados nas Figuras 26 e 27.

Figura 26. Modelagem em SOLIDWORKS (Dassault Systèmes SolidWorks Corporation) da cobertura (acima) e dos elementos estruturais internos do protótipo Coração robótico, em fase de estudo conceitual.



Fonte: elaboração do Autor.

Figura 27. Modelagem em SOLIDWORKS (Dassault Systèmes SolidWorks Corporation) da cobertura (acima) e dos elementos estruturais internos do protótipo Coração robótico, em fase de testagem digital da mecatrônica associada



Fonte: elaboração do Autor.

A impressão 3D, segundo a *American Society for Testing and Materials* (ASTM INTL.), é definida como a fabricação aditiva de um objeto tridimensional. Impressão 3D ou fabricação aditiva é um processo de criação de objetos sólidos tridimensionais a partir de um projeto digital 3D com informações que são lidas por *driver* de impressão na forma de instruções eletromecânicas para o disposto. No processo aditivo de criação de um objeto impresso em 3D o objeto é criado estabelecendo camadas sucessivas de material.

Cada camada corresponde a uma secção horizontal fina do objeto final. A impressão 3D não é apenas um método de impressão, mas um processo complexo que inclui o uso de *software*, o uso de *hardware* e a aquisição de conhecimento prévio para garantir que ambos funcionem corretamente.

Inclui também projeto, impressão e montagem do produto, no caso a estrutura do Coração robótico e sua cobertura. Para tanto, material tipo resina é adicionado em camadas, segundo informações do objeto projetado digitalmente, retroalimentando o sistema controlado por *software* de *design*.

A Figura 28 apresenta o filamento flexível que correspondente à resina para impressão 3D usada na construção do artefato. A cobertura do Coração robótico foi impressa com esta resina, dada a sua flexibilidade, uma demanda

central para a cobertura. O material garante uniformidade de superfície, dispensando acabamento posterior, adequando-se às impressoras de extrusão *direct drive*, como a utilizada nesta construção.

Figura 28. Filamento Flexível Transparente



Fonte: elaboração do Autor.

Outro filamento usado na pesquisa com objetivo de imprimir o coração robótico, foi do tipo flexível transparente medindo 1,75mm material de composição TPU poliuretano termoplástico. A temperatura de impressão do filamento flexível é em torno de 225° C. Esse valor pode variar de acordo com a impressora e clima local. Após ajustar a temperatura, foi verificado a fluidez do material, extrusando um pedaço manualmente.

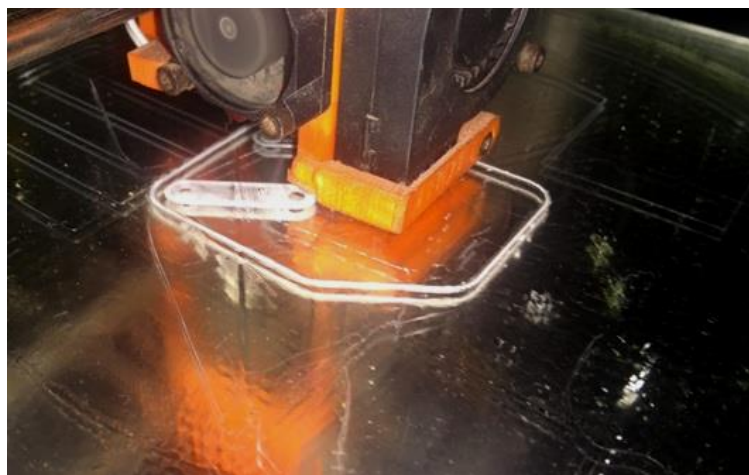
Caso o material esteja pouco fluido, seria necessário elevar a temperatura de 2 em 2 graus Celsius. Porém, se o material estiver mais líquido, seria necessário reduzir a temperatura na mesma proporção, até encontrar o valor ideal. Outro filamento usado na pesquisa, foi o branco, pla (ácido polilático) branco, medindo 1,75 mm com a temperatura de impressão de 190 a 210° que é produzido a partir de fontes renováveis, não polui o meio ambiente e não causa danos à saúde dos seres humanos. Por ser um material de fácil impressão, o seu uso é indicado tanto em impressoras abertas como fechadas, com ou sem mesa aquecida.

Por ter baixa contração (warp), esse material é indicado para peças grandes e que não vão precisar de muitos acabamentos após a sua produção., que é um dos materiais mais utilizados na impressão 3D (Figura 28) para as

quais se demanda resistência, dispensando também acabamento final, dada a uniformidade da superfície pós-impressão. Ambos os tipos de filamento não sofrem deformações pelo resfriamento.

Este material é um dos materiais mais utilizados na impressão 3D (Figura 28) para as quais se demanda resistência, dispensando também acabamento final, dada a uniformidade da superfície pós-impressão. Ambos tipos de filamento não sofrem deformações pelo resfriamento.

Figura 29. Estágio inicial de impressão de elemento estrutural do protótipo utilizando o filamento flexível.



Fonte: elaboração do Autor.

A figura 30 apresenta os elementos estruturais internos, já impressos, que se associam ao sistema de alavancas e motores mecatrônicos, efetores de movimento do coração robótico.

Figura 30. Elementos estruturais internos impressos do coração robótico (paredes). Os encaixes para os dispositivos mecatrônicos estão aparentes nas peças.



Fonte: elaboração do Autor.

Segue-se a impressão da cobertura do coração robótico em material flexível, conforme introduzido acima (Figuras 31 e 32).

Figura 31. Impressão da cobertura translúcida do coração robótico



Fonte: elaboração do Autor.

Figura 32. Cobertura translúcida do Coração robótico.



Fonte: elaboração do Autor.

A cobertura acomoda as peças estruturais internas e os elementos da mecatrônica. A impressão de todo o conjunto leva ao todo cerca de 32 horas. É

importante destacar a qualidade desta cobertura como um sistema difusor de luz, uma vez que, uma das aplicações do dispositivo Coração robótico é a associação com o sistema Pulse Sensor/Transdutor Web. Os LEDs vermelho, verde e azul são associados ao sistema e acendem em combinações determinadas por instruções de saída do transdutor web.

Elementos mecatrônicos foram previstos na modelagem 3D da estrutura de acomodação, como vimos. Simulam os batimentos cardíacos pela movimentação, de forma intercalada, das quatro paredes cardíacas artificiais presas a alavancas, acionadas por sistemas motores.

O motor utilizado é o DC 3-6V (MOTOR 3-6VDC, ADAFRUIT), com caixa de redução e eixo duplo, auxiliares na simulação dos movimentos do coração (figura 33).

Figura 33. Motor 3-6VDC com caixa de redução e eixo duplo.



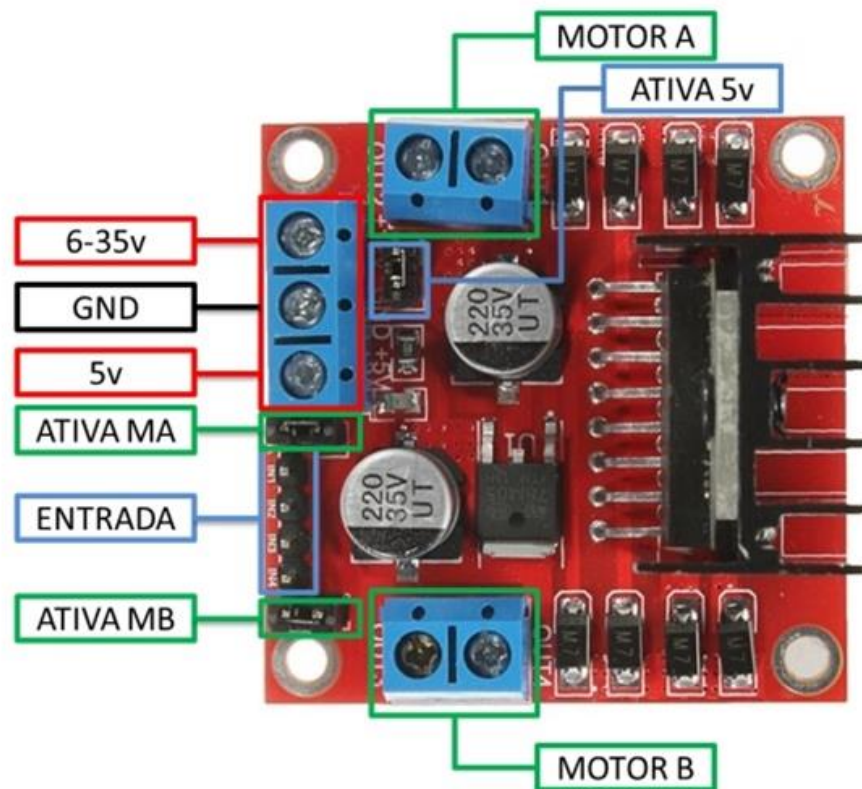
Fonte: MOTOR 3-6VDC (ADAFRUIT).

O motor é controlado por módulo Driver Ponte H dupla L298N (ARDUINO, figura 33). O driver controla, de forma autônoma, a velocidade e o sentido de rotação. Possui dois canais que permitem independência dos dois motores DC abreviação de número (quantidade) de códigos de escala termos linguísticos associados aos intervalos de valores *crisp* de entrada, representadas como \mathbf{N}^4 (medidas do sensor), (A e B).

4 Abreviação de Número de entradas associados aos intervalos de valores *crisp* coletados, representadas como N (medidas do sensor), sendo esse computacionalmente denotado como um vetor de valores *crisp*.

Apresenta os pinos Ativa MA e Ativa MB, responsáveis pelo controle PWM⁵ dos motores A e B, atuando sobre a variação da velocidade de rotação. Possui um regulador de tensão integrado que, quando operado entre 6-35V, disponibiliza saída regulada de +5v para um uso externo, provendo alimentação para um outro componente eletrônico, se necessário. A fonte de alimentação se conecta às entradas indicadas na Figura 34 como 6-35v e GND. Para um motor DC 12v, por exemplo, basta conectar a fonte externa de 12v nos pinos 6-35 e GND. O sistema de barramento é composto por entradas IN1 a 4, responsáveis pela rotação do motor A (IN1 e IN2) e motor B (IN3 e IN4).

Figura 34. Ponte H L298N



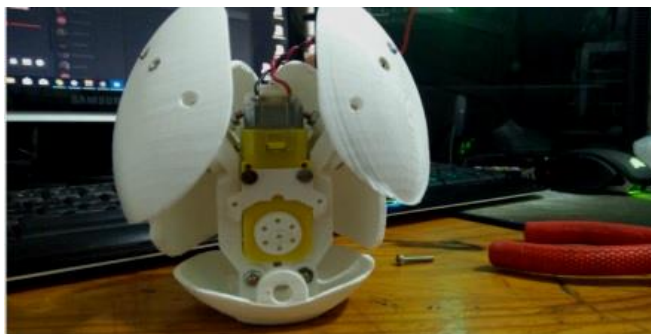
(ARDUINO).

Fonte: MUNDO ELETRÔNICO.

⁵ PWM (Pulse Width Modulation – Modulação por Largura de Pulso) é uma técnica para obter resultados analógicos por meios digitais

A seguir, a montagem mecatrônica⁶. A Figura 35 apresenta o protótipo com a mecatrônica, onde se observa, ao centro, as hastes que partem do motor e seguram as placas.

Figura 35. Mecatrônica robótica montada.



Fonte: elaboração do Autor.

Testes da mecatrônica associada às peças estruturais internas foram realizados para avaliar os movimentos (Figuras 36 a 37).

Figura 36. Primeiros testes do Coração robótico.



Fonte: elaboração do Autor.

⁶Mecatrônica é a combinação sinérgica de engenharia mecânica de precisão, controle eletrônico e pensamento de sistemas no design de produtos e processos de fabricação. Disponível em < <https://www.journals.elsevier.com/mechatronics>>.

Figura 37. Testes do Coração robótico.



Fonte: elaboração do Autor.

A Figura 38 apresenta o protótipo já finalizado, provido da cobertura.

Figura 38. Protótipo completo concluído.



Fonte: elaboração do Autor.

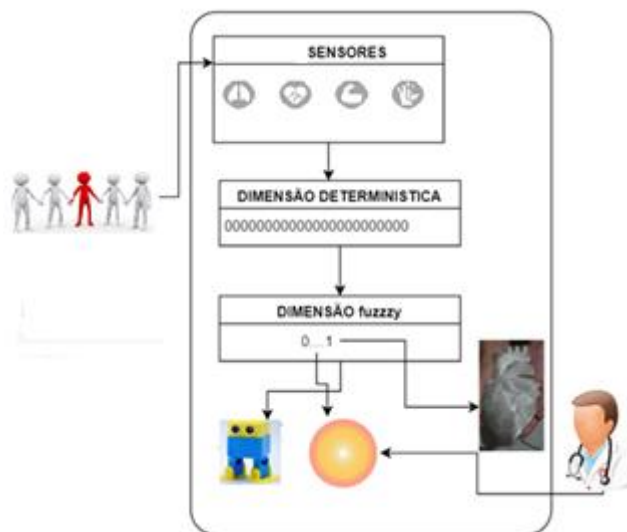
Como interface humano-computador, o coração robótico tem como finalidade dar ao especialista, usuário, ou observador, a possibilidade de perceber os sinais capturados pelo sensor, passem estes ou não pelo transdutor web, a partir de rebatimento, em tempo real, de suas medidas parametrizadas, para o *simulador* da estrutura, ou órgão biológico original – no caso o coração – que é a sede e fonte energética dos eventos biofísicos, os quais se deseja conhecer.

3.4 MODELO IHC PROPOSTO

A Figura 39 apresenta o esquema geral do modelo IHC proposto, que é iniciado com a coleta de dados correspondentes a variáveis biológicas de um participante, realizada por um período de tempo por dispositivo sensor, durante o qual alimentam a nuvem de dados.

Na sequência, o algoritmo que simula a transdução para cor (Transdutor Web) e que realiza o processamento dos parâmetros de movimento por meio dos sensores que coletam os dados do tipo CRISP (BPM), passando para a fase seguinte, que é dimensão determinística, que trata os dados CRISP (BPM) preparando o estado de pré-fuzificação, onde a dimensão *fuzzy* trata das subjetividades considerando valores crisp e periodicidade da coleta dos dados (TIME STAMP) bem como a representação gráfica como forma de resultados da fuzificação, completando sua rotina, enviando comandos, em tempo real, para geração de uma mandala (elemento gráfico visual), e/ou para movimentação e emissão de luz colorida por dispositivos robóticos, como o robô Otto adaptado para esta pesquisa e o Coração robótico, especialmente desenvolvido para tal.

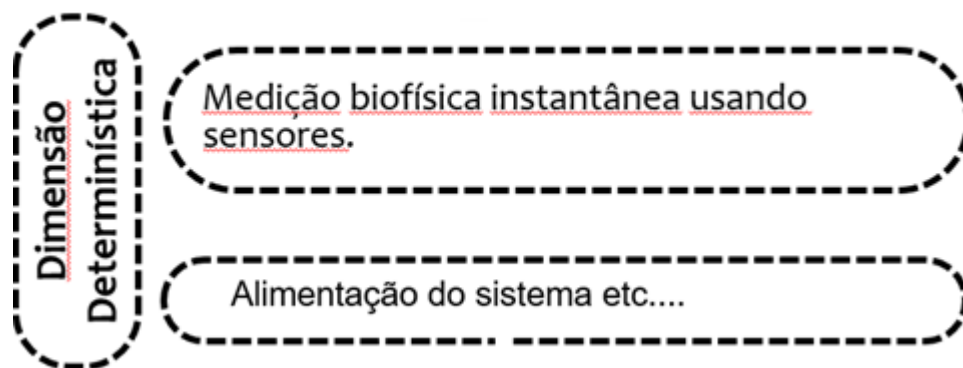
A Figura 39. Esquema geral do modelo IHC proposto.



Fonte: elaboração do Autor.

O modelo esquematizado inclui sistemas de operações sintetizadas no Transdutor Web que têm como alvo a expressão de construtos que levam à percepção cognitivo afetiva sensorial do observador de medidas biofísicas, em nosso caso, exemplificadas pela frequência de batimentos cardíacos, transformadas de dados duros em dados nebulosos (*fuzzy*). Portanto, o processamento dos dados se dá em duas dimensões, aqui referidas como determinística (Figura 40) e *fuzzy* (Figura 41). A dimensão determinística consiste na coleta dos dados gerados pelo sensor de taxa de pulsação ou frequência de batimento cardíaco (Figura 38). Estas medidas são os números *crisp* de entrada que alimentam o sistema de transformação de valores de entrada por fuzificação.

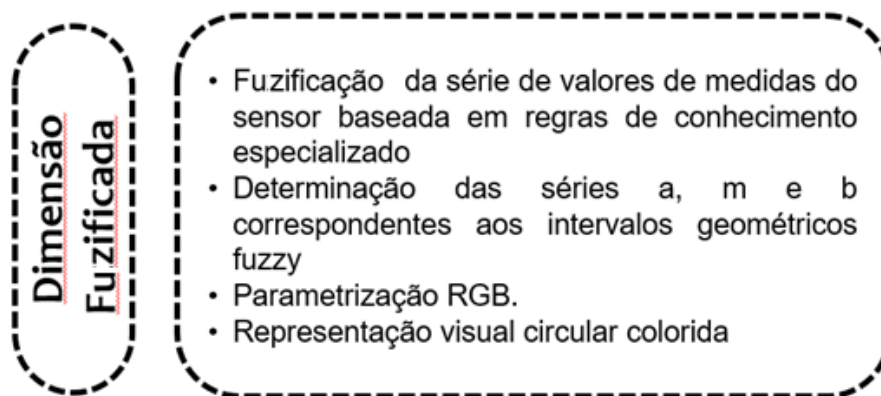
Figura 40. Dimensão determinística do processamento de dados efetuado pelo Transdutor Web em nosso sistema IHC.



Fonte: elaboração do Autor.

O processamento *fuzzy* determina a dimensão *fuzzy* da modelagem de dados proposta nesta tese

Figura 41. Dimensão *fuzzy* do processamento de dados efetuado pelo Transdutor Web.



Fonte: elaboração do Autor.

Na dimensão *fuzzy* do processamento, um conjunto de regras de linguagem humana, fornecidas pelo usuário, é aplicado para fundamentar as operações matemáticas já apresentadas anteriormente. Arquivos em formato CSV são gerados a partir dos dados das medições enviados a sistema Transdutor Web desenvolvido em PHP (HYPERTEXT PREPROCESSOR). Esta é uma linguagem de *script open source*, de uso geral, muito utilizada, e especialmente adequada para o desenvolvimento web e que pode ser embutida dentro do HTML, além do PHP.

Neste tratamento utilizamos uma biblioteca Javascript⁷ D3.js⁸ responsável por viabilizar uma exibição interativa e dinâmica dos dados. Esta biblioteca utiliza padrões gráficos vetoriais escaláveis, HTML5 e CSS. Uma vez realizado o *upload* do arquivo, segue-se a decodificação dos dados, gerando uma matriz de valores fuzificados.

Sobre esta última, aplica-se a rotina de parametrização descrita mais acima para escala de cores RGB, determinando a sequência de cores

⁷ JavaScript é uma linguagem de script ou de programação que permite implementar recursos complexos em páginas da Web. Disponível em <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Learn/JavaScript/First_steps/What_is_JavaScript>. Acesso em 27 jan 2019

⁸ D3.js é uma biblioteca JavaScript para manipular documentos com base em dados.

correspondente, e consolidando um processo que entendemos como simulação de transdução dos dados; o termo simulação se justifica dado que, até este estágio, a base eletrônica de processamento permanece, ou seja, não há alteração do substrato energético no nível técnico/tecnológico. A transdução de fato acontece em níveis perceptuais, quando a dimensão humana passa a integrar nosso sistema IHC.

O que fizemos aqui nesta tese para fins de processamento subsequente por transdução (vide próximo item) foi proceder à apropriação dos valores **a**, **m** e **b**, portanto dos correspondentes *fuzzy* dos números *crisp* (isto é, das medidas diretas de frequência de batimento cardíaco geradas pelo sistema sensor utilizado) de entrada no sistema de transformação *fuzzy*.

Sob a forma de intervalos geométricos que refletem matematicamente parâmetros de ambiguidade, indeterminação e contradição no julgamento cognitivo humano, os valores *a*, *m*, e *b* incorporam, enquanto intervalos, possibilidades de interpretação e qualificação da medida determinística original, interpretação heurística esta efetivada por especialista/observador envolvido na avaliação do significado destas medidas no sistema a partir do qual se extraem as medidas, neste caso, o sistema biológico humano.

Portanto, nossa proposta de processamento de dados dos sensores, entre outros aspectos, rompe na essência com a dureza dos dados de entrada no sistema. De pontos numéricos determinísticos passamos a intervalos numéricos *fuzzy*.

O ineditismo do algoritmo de fuzificação, para além de recuperar ao sistema humano-dados o caráter nebuloso que domina a cognição humana, instrumentalmente abre para manipulações muito relevantes.

Ao transformar dados de um sistema *fuzzy* de regras especialistas linguísticas, qualitativas, de parametrização, ou seja, que transforma números de entrada duros, números *crisp de entrada*, em correspondentes numéricos de campos intervalares geométricos, ou *conjuntos fuzzy*, acaba disponibilizando ao experimentador, a possibilidade de parametrizar a partir de qualificadores, vetores ou que quer que seja, mais complexos, multiplicando as possibilidades de dar significado aos resultados finais do processo de visualização interpretativa, crítica e em geral, com largo espaço intuitivo abduutivo, sobre os

resultados das aferições, sejam estas biofísicas, como aqui empregadas, ou provenientes de qualquer outro sistema.

De fato, o Transdutor Web, essencialmente *fuzzy*, se aplica, teoricamente, a qualquer outra variável, como condutância de pele, fluxo de ar, etc.

O ponto, o par ordenado, bidimensional, cartesiano, numérico, é superado, abrindo um espaço de possibilidades ao mundo analítico abstrato, permitindo-o ampliar-se conceitualmente e fenomenologicamente, afirmando-se como o operacionalizador de uma experiência sensorial, incorporada, para o experimentador/observador, onde conjuntos e sobreposições envolvem esteticamente o sujeito cognoscente.

Instala-se assim um sistema que faz jus à complexidade do mundo biofísico, fonte dos dados capturados de forma discreta e dura pelos sensores. Enfatizando que o que está sendo recuperado através do modelo proposto é a possibilidade de resgatar no dado *crisp* do sensor o acontecimento como um intervalo de possibilidades, de sobreposições com outros acontecimentos com os quais as fontes destes dados compõem sistemas de alta complexidade.

De uma experiência abstrata, nos moldes cartesianos hegemônicos da ciência, mergulhamos numa experiência sensorial, de potencial estético, afetivo, multimodal. O mundo físico não é analógico ou digital, e não pode ser compreendido na descontinuidade do sistema que integra e forma com o humano.

4 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considera-se que a presente pesquisa alcançou, em grande parte, o seu propósito, ao trazer subsídios relevantes a respeito de um modelo de interação humano-computador baseado em lógica *fuzzy* para aferição de dados biofísicos utilizado como um modelo de interface humano computacional em torno do processamento e expressão da variável biofísica referida como taxa de pulsação ou batimento cardíaco. Os resultados da pesquisa seguiram os passos da metodologia de análise estratégica adotada no seu referencial teórico.

Estabeleceu-se a criação de um algoritmo que simula um transdutor, o Transdutor Web. O sistema captura medidas de um sensor para frequência cardíaca, fuzifica as medidas e as transduz em espectro visual que sintetiza o histórico e comportamento *fuzzy* sob a forma de uma mandala de desenvolvimento progressivo, em situação de experimentação controlada.

O resultado gráfico visual apresentando pela mandala entendeu-se como promissor para fins desta pesquisa.

Apesar de não termos colhido sistematicamente os resultados de consulta, a apresentação dos correspondentes *fuzzy* parametrizados sob a forma das mandalas, nas três situações testadas, a quatro profissionais da área da saúde, dentre os quais, um cardiologista, mereceu considerações positivas pelos consultados, tendo estes elogiado o arranjo de alta carga estética, sensorial e reconhecido em geral, com facilidade, os correspondentes técnicos de interesse biofísico e biomédico.

A mandala revelou-se capaz de crescer em tempo real, representando uma alternativa ao crescimento da curva temporal de dados de cunho cartesiano.

A criação do Coração robótico para caracterizar de forma mais próxima da realidade a representação e comportamento dos dados transduzidos pelo sistema, teve como objetivo apresentar um sistema de visualização de dados transformados por fuzificação, e de transdução digito-sensorial, onde cores e movimentos são gerados a partir do algoritmo de processamento *fuzzy* e da interação de seus dados de saída com a eletrônica e a mecatrônica do robô.

O mapeamento de variáveis biofísicas originadas de comportamentos humanos é intangível; no entanto, existem vários fatores que podem ser usados para detectá-los. A quantidade de informação apresentada pelos vários fatores é enorme, aumentando drasticamente a complexidade de qualquer modelo usado para correlacionar fatores a comportamentos e/ou previsões biológicas e/ou clínicas.

Como possíveis desdobramentos desta tese, seria de grande relevância realizar sistematicamente testes de avaliação de impacto cognitivo, afetivo e estético do tratamento e das formas de apresentação IHC aqui propostas, bem como perseguir as relações entre este tratamento/apresentação *fuzzy* sensorial

aqui desenvolvidos sobre a capacidade e a qualidade diagnóstica em estudos de suposta aplicação clínica.

Ainda considerar outras grandezas biofísicas quanto à aferição e à avaliação eficiente de dados de usuários. Isso significa, por exemplo, que parâmetros como condutância de pele e temperatura corporal, podem ser considerados.

Seria relevante também replicar o modelo *fuzzy* aqui apresentado e utilizado como referencial para a representação de variáveis da fisiologia cardiovascular no coração robótico, em outros protótipos como um rosto humano, figura de preditivo alto impacto perceptual cognitivo no humano.

REFERÊNCIAS

ALBRIGHT, F.J.; ANNALA, J. **Practical Aspects of Dynamic Verification of Extensometers: Part I – The Concepts**. Journal of Testing and Evaluation-JTEVA, v. 22, p. 53-56, 2014.

ALLEN, J. **Photoplethysmography and its application in clinical physiological measurement**. Physiological Measurement, 28(3), R1–R39, doi:10.1088/0967-3334/28/3/r01, 2007

ARDUINO. **Sensor de temperatura digital**. Disponível em <<https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>>. Acesso em 20 jan 2019.

ASTM. **American Society for Testing and Materials**. Disponível em: <https://www.astm.org/>. e <<https://www.astm.org/Standards/ISOASTM52900.htm>> Último acesso em 15 de fev 2020.

BABUSKA, R. **Fuzzy Modeling for Control**. Boston, USA: Kluwer Academic Publishers, 1998.

BALBINOT, A.; BRUSAMARELLO, V. J. **Instrumentação e Fundamentos de Medidas**. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

BECHARA, A.; DAMASIO, H.; DAMASIO, A.R. **Role of the amygdala in decision-making**. Ann N Y Acad Sci. 2003

BELCHIOR, ARNALDO DIAS. **Um Modelo fuzzy para Avaliação**. Tese (Doutorado em Engenharia de Sistemas e Computação) (COPPE) - Universidade do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1997

BELLMAN, R.E. **Adaptive Control Processes**. Princeton University Press, 1961.

BERTELSEN, O.W.; BØDKER, S. Activity theory. In J. M. Carroll (Ed.) HCI models, theories, and frameworks: Toward a multidisciplinary science, Morgan Kaufmann, San Francisco. pp. 291–324, 2003.

BEZDEK, J. C. **Reconhecimento de Padrões com algoritmos de função objetivo fuzzy**. Nova Iorque: Plenum Press, 1981.

BOENTE, A.N.P. **Descoberta de Conhecimento em Bases de Dados**. Tese de Doutorado, Departamento de Informática, AWU - American World University, Iowa, USA, 2006.

BOENTE, A.N.P. **Proposição de um Modelo fuzzy para Tomada de Decisão acerca da Avaliação da Qualidade do Produto de Software AVA Moodle Utilizado no Curso de Pós-Graduação em Tecnologias Educacionais do IST-Rio e da Satisfação de seus Usuários**. Tese de Doutorado, Engenharia

de Produção, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, RJ, 2013.

BUZAN, T. **The Mind Map Book**, Plume, 2a. edição, 1996

CARACELLI, V.; GREENE, J. **Data analysis strategies for mixed method evaluation designs**. *Educ Eval Policy Anal*;15:195–207, 1993.

CARL JUNG. **Tipos Psicológicos**. 1991. Editora Vozes. Rio de Janeiro. 1991.

CSS. **Cascading Style Sheets**. Disponível em : <https://www.w3.org/Style/CSS/Overview.en.html>. Último acesso em 12 de fevereiro de 2019.

CASTRO, J., SIERRA, H., & FLÓREZ, R. **Una revisión de las relaciones entre los sistemas dinámicos y la psicología del desarrollo**. *Suma Psicológica*, 19(2), 109-130. 2012.

CHOMSKY, N. **Princípios e parâmetros na teoria sintática**. In: N.; LIGHTFOOT, D. (Edit.). **Explicação em Linguística: O problema lógico da aquisição de linguagem**. 1981.

CHIU, S. **Fuzzy Model Identification Based on Cluster Estimation**. in *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems* 2(3):267-278. 1994

CHUNG, Y. et al. **Reprogramming of human somatic cells using human and animal oocytes**. *Cloning and Stem Cells*, vol. 11, n. 2, 2009.

CHURCHLAND, Patricia S. **A Neurocomputational Perspective: The Nature of Mind and the Structure of Science**, Cambridge, MA: MIT Press, 1989.

COELHO, L. D. S. **Comportamento Humano, tecnologia e redes neurais**. *Ciências e Geodésicas*, v. 2, p. 34-56, 2005.

COSENZA, H.J.S.R. **Aplicação de Um Modelo de Hierarquização como Instrumento para Tomada de Decisão: Caso de uma Multinacional**. In: XXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, ENEGEP, Fortaleza..2006

CREATIVE, **ARDUINO**. Disponível em <<https://create.arduino.cc/projecthub>>. Acesso em 15 jan. 2019.

DAMASIO, A.R. **Descartes' Error: Emotion, Reason, and the Human Brain**. New York:G.P. Putnam, 1994

DAVIDSON, E. H. **The regulatory genome: gene regulatory networks in development and evolution**. New York, NY: Academic Press, 2006.

DAVIES, K. J. **Adaptive homeostasis**. *Mol Aspects Med.*; 49:1-7, 2016. doi:10.1016/j.mam.2016.04.007, 2016.

DATA AND DESIGN THINKING. **ENGINESS** (2019). Disponível em: <https://www.engineess.io/insights/data-and-design-thinking>. Último acesso em 15 de fev 2020.

DOUGHERTY, E. R.; SHMULEVICH, I. **On the limitations of biological knowledge**. *Curr Genomics*. 2012 Nov;13(7):574-87. doi: 10.2174/138920212803251445. PMID: 23633917; PMCID: PMC3468890.

Data-Driven Documents. **Gerenciamento de Dados**. Disponível em <<https://d3js.org/>> . Último acesso em 19 de fev 2020.

EL-NASH M. S. YEN J and JOERGER, T. **FLAME - Fuzzy Logic Adaptive Model of Emotions**. *Autonomous Agents and Multi-agent Systems* 3, p. 219-257, 2000

ERNEST, S. K. M. In: S.E. JORGENSEN E B.D. FATH. **Homeostasis**. *The Encyclopedia of Ecology*, Elsevier Press, p. 1879-1884. 2008.

EVREKLI, E., Iel, D. & Balim, A. **Mind mapping applications in special teaching methods courses for science teacher candidates and teacher candidates' opinions concerning the applications**. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 1, 2274-2279. 2009.

EVREKLI, E., Iel, D. & Balim, A. **Development of a scoring system to assess mind maps**. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 2, 2330-2334. 2010

FENNER, J. W.; et al. **The EuroPhysiome, STEP and a roadmap for the virtual physiological human**. *Phil. Trans. R. Soc. A*. 2008.

FILIPEFLOP. **Driver Motor Ponte H L298n**. Disponível em <<https://www.filipeflop.com/produto/driver-motor-ponte-h-l298n/>>. Acesso em 12 Jan 2019.

FISCHER, K. W.; BIDELELL, T.R. **Desenvolvimento dinâmico de ação, pensamento e emoção**. In: DAMON, W.; LERNER (Edit.). *Modelos teóricos do desenvolvimento humano: manual de psicologia infantil*. 6. ed. p. 313-399. 2006

FRANCO, S. **Design with operational amplifiers and analog integrated circuits**. New York, NY: McGraw-Hill Higher Education, 2014.

FRITZING. **Open-source hardware initiative**. Disponível em <https://fritzing.org>. Último acesso em 15 de fevereiro 2020.

GALLESE, V. **Embodied simulation and its role in cognition**. Em: *Reti, saperi, linguaggi, Italian Journal of Cognitive Sciences*, v. 1, pp. 31-46, 2018. doi: 10.12832/90969

GARCIA, André Luis Jorge. **Implementação eletrônica de sistemas fuzzy**. – 2009.

GENTILI, P. L. **The Fuziness of the Molecular World and Its Perspectives**.

GOLDSCHMIDT, R.R.; PASSOS, E. **Data Mining: Um Guia Prático**. Rio de Janeiro: Campus. 2005.

HOBBY MC. **RGB Shield pour Arduino**. Disponível em https://shop.mchobby.be/fr/shields/1267-rgb-shield-pour-arduino-3232100012677.html?search_query=arduino+RGB+shield&results=590. Acesso em 20 Jan. 2019.

HORGAN, T.; TIENSON, J. **Connectionism and the Philosophy of Psychology**, Cambridge, MA: MIT Press, 1996.

HUNTER, P. J.; PULLAN, A. J.; SMAILL, B. H. **Modelling total heart function**. Rev. Biomed. Eng. 2016.

HYPertext PREPROCESSOR. Disponível em: <https://www.php.net/> Último acesso em 15 de fev 2020.

HYPertext MARKUP LANGUAGE. Disponível em: <https://www.html.com>. Último acesso em 15 de fev 2020.

JACKENDOFF, R. **Fundamentos da linguagem: cérebro, significado, gramática, evolução**. New York: Oxford University Press, 2002.

JAVASCRIPT. Linguagem programação. Disponível em <https://javascript.com>. Último acesso em 02 de fevereiro de 2018

JUNG, C. G. **Tipos psicológicos**. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1921. (Vol. 6. Bollingen Série XX, 1971).

KARL PRIBRAM. **Languages of the Brain**. Hardcove. 1971

KELES. O. **Elementary Teachers' Views on Mind Mapping**. International Journal of Education, Vol. 4, No. 1., pp. 93-100. 2012

KENNEDY, J. Kurt Gödel. **The Stanford Encyclopedia of Philosophy** (Winter 2018 Edition), Edward N. Zalta (ed.), 2018. Disponível em:

<https://plato.stanford.edu/archives/win2018/entries/goedel>. Acesso em: 24 nov. 2019.

KIM G. J. **Human-Computer Interaction**, volume ISBN 9781482233896. Taylor & Francis Group, 2015

KLIR, GEORGE JIRI; YUAN, BOO; CLAIR, UTE SAINT. **Fuzzy Set Theory: Foundations and Applications**. United States: Prentice Hall, 1997

KREIBIG, S. **Autonomic nervous system activity in emotion: a review**. *Biological psychology*, v. 84, n. 3, p. 394-421, 2010.

LANNES, D. P. **Transdutor para medição de deformações dinâmicas em dutos**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal Fluminense - UFF, Niterói/RJ, 2009.

LEVINE, M.; DAVIDSON, E. H. **Gene regulatory networks for development**. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2015.

LEWIS, M. D. **Emoção, desenvolvimento e auto-organização: abordagens dinâmicas do sistema ao desenvolvimento emocional**. Nova York: Cambridge University Press, 2000.

LIU, M. et al. **Piezoelectric microcantilevers with two PZT thin-film elements for microsensors and microactuators**. In: PROCEEDINGS OF THE 1ST IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON NANO/MICRO ENGINEERED AND MOLECULAR SYSTEMS, 1., Zhuhai, China, 2006. Actas [...]. Zhuhai: IEEE, 2006.

MAMDANI, E. H. (1977) **Applications of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant**. Proc. IEE 121, vol. 12, p. 1585-1588

MANDRYK, R. L.; ATKINS, M.S. **Uma abordagem fisiológica difusa para modelar continuamente a emoção durante a interação com as tecnologias de jogo**. Revista Internacional de Estudos Humano-Computador, 65 , p. 329-347, 2007.

MATERIALIZE. **A modern responsive front-end framework based on Material Design**. Disponível em <<https://materializecss.com/>>. Último acesso em 02 de fevereiro de 2019.

MODELL, H.; CLIFF, W.; MICHAEL, J.; MCFARLAND, J.; WENDEROTH, M. P.; WRIGHT, A. **A physiologist's view of homeostasis**. Adv Physiol Educ.; 39(4):259-266. doi:10.1152/advan.00107.2015.

MORIN, E. **From the Concept of System to the Paradigm of Complexity**. Journal of Social and Evolutionary Systems, v. 15, n. 4, p. 371-385, 1992. ISSN: 1061-7361.

ADAFRUIT. **MOTOR DC 3-6VDC**. Disponível em: <<https://www.adafruit.com/product/3777>>. Último acesso em 15 de fev 2020.

MUNDO ELETRÔNICO. **Arduino:bridge motor drive**. Disponível em: <<https://www.mundoeletronica.com.br/produtos/arduino-l298-h-bridge-motor-driver-board-2a-modolu-ponte-h/>> Último acesso em 15 de fev 2020.

NASCIMENTO, M. **Sucesso ou Fracasso da Matemática Moderna**. Editora Edgar Blücher, 2016

NETFLIX. **Black Mirror. Rachel, Jack e Ashley Too**. Disponível em <<https://www.netflix.com/br/>>. Acesso em 10 de Jan de 2019.

NIE, D.; WANG, X.; SHI, L.; LU, B. **EEG-based emotion recognition during watching movies**. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL IEEE / EMBS DE ENGENHARIA NEURAL (NER), 5., 2011, Cancun. Actas ([...]. Cancun: IEEE, 2011. p. 667–670.

OTTO DIY. **Robot Otto**. Disponível em: <https://www.ottodiy.com/>. Último acesso em 15 de fev 2020.

PEAK SIGNAL DETECTION IN REAL TIMESERIES DATA. Disponível em: <https://stackoverflow.com/questions/22583391/peak-signal-detection-in-realtime-timeseries-data>. Último acesso em 15 de fev 2020.

PEDRYCZ, W. **Algoritmo de identificação em sistemas relacionais fuzzy. Conjuntos Difusos e Sistemas**, v. 13, p. 153-167, 1984.

PHP. **Hypertext Preprocessor**. Disponível em: <http://php.net>. Último acesso em 15 de fev 2020.

PERLOVSKY, I.; ILIN, R. **Brain. Conscious and Unconscious Mechanisms of Cognition, Emotions, and Language**. Brain Sci. 2012 Dec; 2(4): 790–834. Published online 2012 Dec 18. doi: 10.3390/brainsci2040790

PERLOVSKY, L. I.; MCMANUS, M. M. **Maximum likelihood neural networks for sensor fusion and adaptive classification**. Neural Networks, v. 4, n. 1, p. 89–102, 1991.

PERLOVSKY, L.I. **Gödel Theorem and Semiotics. Proceedings of the Conference on Intelligent Systems and Semiotics**. Gaithersburg, MD, v.2, pp. 14–18. 1996

PERLOVSKY, L.I., Webb, V.H., Bradley, S.R. & Hansen, C.A. **Improved ROTH Detection and Tracking Using MLANS**. AGU Radio Science, 33(4), pp. 1034–44.1998

PERLOVSKY, L. I. **Neural Networks and intellect: Using model based concepts**. New York: Oxford University Press, 2000.

PERLOVSKY, L. I. **Integrating language and cognition**. IEEE Connections, v. 2, n. 2, p. 8–12, 2004.

PERLOVSKY, L. I. **Toward physics of the mind: Concepts, emotions, consciousness, and symbols**. Physics of Life Reviews, v. 3, p. 23–55, 2006.

PERLOVSKY, L. I. **Evolution of languages, consciousness, and cultures**. IEEE Computational Intelligence Magazine, v. 2, n. 3, p. 25–39, 2012.

PESSÔA, L. **Understanding brain networks and brain organization**. Phys Life Rev. 11(3):400-35, 2014.

PINKER, Steven. **Como a mente funciona**. Companhia das Letras, SP, 1998.

PROCESSING. **Software sketchbook**. Disponível em <http://www.processing.org>. Último acesso em 12 de fev de 2020.

PLUTCHIK, R. **A GENERAL PSYCHOEVOOLUTIONARY THEORY OF EMOTION**. Theories of Emotion. Academic Press 1980.

PULSE SENSOR (2008) **Pulse Sensor, World Famous Electronics llc.** Disponível em: <https://pulsesensor.com/>. Último acesso em 15 de fev 2020.

PULSE SENSOR AMPED (2008) **Pulse Sensor Amped: Arduino Code v1.2 Walkthrough, World Famous Electronics llc.** Disponível em: <https://pulsesensor.com/pages/pulse-sensor-amped-arduino-v1dot1>. Último acesso em 15 de fev 2020.

RAIRÁN, J. D. **Controlado baseado en emociones: una revisión. Avances en Sistemas e Informática**, v. 7, n. 2, p. 27-36, 2010.

RICHARDS, B.A., LILLICRAP, T.P., BEAUDOIN, P. et al. **A deep learning framework for neuroscience.** Nat Neurosci 22, 1761–1770 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41593-019-0520-2>

ROBOCORE. **Página Principal.** Disponível em <https://www.robocore.net/>> Acesso em 12 Jan 2019.

SHAPIRO, J. A. **Revisiting the central dogma in the 21st century.** Ann. N Y Acad. Sci. 2009.

SIMÕES, M.G. e SHAW, I.S. **Controlado e Modelagem fuzzy.** 2. ed. Revisada e Completa. São Paulo: Blucher: FAPESP. 2000.

SIMÕES, M.G. e SHAW, I.S. **Controlado e Modelagem fuzzy.** 2. ed. Revisada e Completa. São Paulo: Blucher: FAPESP. 2007.

SOLIDWORKS. **DASSAULT SYSTÈMES SOLIDWORKS CORPORATION.** Disponível em: <https://www.solidworks.com/>. Último acesso em 15 de fev 2020.

STRAUSS, A.; CORBIN, J. **Pesquisa qualitativa: técnicas e procedimentos para o desenvolvimento de teoria fundamentada.** 2. ed. Tradução de Luciane de Oliveira Rocha. Porto Alegre: Artmed, 2008.

STARTECHROBOTICS. **Robotics and Electronics.** 2019. Disponível em: <https://www.startechrobotics.com/producto/sensor-de-temperatura-lm35/>>. Acesso em 19 jan 2018.

SUN, Y. H.; CHEN, S. P.; WANG, Y. P.; HU, W.; ZHU, Z. Y. **Cytoplasmic impact on cross-genus cloned fish derived from transgenic common carp (Cyprinus carpio) nuclei and goldfish (Carassius auratus) enucleated eggs.** Biol. Reprod. 2006.

TAKAGI, T. E SUGENO, M. **Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control.** IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 15(1):116–132. 1985

TARIQ, Shema; WOODMAN, Jenny. **Using mixed methods in health research.** Journal of the Royal Society of medicine Short Reports, 0: 1–8, DOI: 10.1177/2042533313479197 7, 2010

TE'ENI, D. O. V.; CAREY, J.; ZHANG, P. **Human-Computer Interaction: Developing Effective Organizational Information Systems**. John Wiley & Sons, Inc., 2007.

THEBAS, Vantuil Manoel. **Características dos Sensores**. Instituto Federal do Espírito Santo, Serra, 2009.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. **Sensores Industriais: Fundamentos e Aplicações**. 5. ed. São Paulo: Érica, 2015.

TOMASELLO, M., & HABERL, K. **Understanding attention: 12- and 18-month olds know what is new for other persons**. *Developmental Psychology*, 39(5), 906-912, 2003.

TRANSDUTOR WEB. Disponível em: <http://transdutor.werkend.com.br/>. Último acesso em 15 de fev 2020.

UMILTÁ, M. A.; BERCHIO, C.; SESTITO, M.; FREEDBERG, D.; GALLESE, V. **Abstract and cortical motor activation: an EEG study**, *Frontiers in Human Neuroscience*, 2012

VALLACHER, R. R., NOWAK, A., & KAUFMAN, J. **Intrinsic dynamics of social judgment**. *Journal of Personality and Social Psychology*, Washington. 1994.

VAN GEERT, P.; STEENBECK, H. **Explicando depois por antes: aspectos básicos de uma abordagem de sistemas dinâmicos para o estudo do desenvolvimento**. *Developmental Review*, v. 25, p. 408-442, 2005.

VENTER, C. **A life decoded**. London, UK: Allen Lane, 2007.

YANARU T. **An emotion processing system based on fuzzy inference and subjective observations**. *Information Sciences: an International Journal*, Volume 101. 1992

ZACH, R. Hilbert's Program. **The Stanford Encyclopedia of Philosophy** (Fall 2019 Edition), Edward N. Zalta (ed.), 2019. Disponível em:

<https://plato.stanford.edu/archives/fall2019/entries/hilbert-program/>. Acesso em 15 de fev. 2020.

ZADEH, L. A. **Fuzzy logic = computing with words**. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 4, no. 2, pp. 103-111, May 1996, doi: 10.1109/91.493904, 1996.

ZADEH, L. A. **Fuzzy sets**. *Information and Control*. 8 (3): 338–353. doi:10.1016/S0019-9958(65)90241-X, 1965