

MODELO *NEURO-FUZZY* ADAPTATIVO PARA REPRESENTAÇÃO DE MOVIMENTOS DE UMA PRÓTESE DO SEGMENTO MÃO-BRAÇO (30 NOVEMBRO 2009)

M.M.G. Barreto, A. Balbinot

Resumo— Esse artigo descreve de forma breve um aparato experimental para controle de uma prótese de mão. Em seguida, apresenta um sistema de inferência *neuro-fuzzy* adaptativo como modelo teórico representativo do aparato experimental descrito. O sistema se mostra válido para determinado conjunto de valores compatível com o escopo definido para as variáveis e suas funções de pertinência, não apresentando margem de erro significativa. O sistema possui todas as regras lógicas apresentadas nos fluxogramas, correspondentes ao modelo formal do modelo experimental descrito, para os movimentos da prótese e outras regras para movimentos adicionais não descritos nos fluxogramas, que permitem a flexibilização dos movimentos da prótese.

Palavras chave— *Controle Fuzzy; Engenharia Biomédica; Lógica Fuzzy; Modelagem de Sistemas fuzzy; Sistemas Adaptativos; Sistemas de Controle Biológicos; Sistemas Fuzzy.*

Key words- *Adaptive Systems; Biological Control Systems; Biological System Modeling; Biological Engineering; Fuzzy Control; Fuzzy Logic; Fuzzy System.*

1 Introdução

O desenvolvimento de tecnologia assistiva para integrar partes do corpo humano, com dispositivos eletromecânicos, é um dos grandes desafios da ciência. Doenças neuromusculares, atrofia muscular, distrofia, amputações e paralisias dificultam o desempenho físico de muitas pessoas. Em benefício dessa parcela importante da população é importante o desenvolvimento de tecnologia assistiva para facilitar, auxiliar, controlar e permitir a comunicação com o ambiente a que estão inseridas. A área relacionada ao controle de próteses, por biosinais é parte da grande área de pesquisa HCI (*humam-computer interfacing*). Este tipo de sistema tem por função manipular os biosinais para controlar alguns

sistemas externos com o objetivo de melhorar a vida de pessoas com desordens

ou distúrbios neuromusculares, tais como, lesões na coluna vertebral, amiotrofia lateral, esclerose, paralisia do tronco cerebral [1].

Segundo dados estatísticos de 2000, existem cerca de 6,5 milhões de pessoas portadoras de deficiência motora no mundo. Principalmente amputações, lesões medulares, paralisia cerebral, entre outras, que atingem, sobretudo, jovens e adultos em idade produtiva. Assim sendo, a protetização é parte fundamental no esforço por uma assistência integral às pessoas portadoras de deficiência, ou seja, com o desenvolvimento de pesquisas em Tecnologia Assistiva, de novas tecnologias, de sistemas adaptativos, de sistemas de menor custo, de sistemas com tecnologia nacional são elementos chaves para o reingresso rápido desse indivíduo ao meio social. No Brasil, segundo dados do IBGE, pessoas com necessidades especiais correspondem a 24,6 milhões da população [2]. Portanto, a aplicação e disseminação de Tecnologia Assistiva deveria ser promovida e viabilizada para beneficiar parcela significativa da nossa população.

Esse é um campo em aberto e fecundo, onde diferentes soluções têm sido avaliadas e muitos resultados são considerados ainda parciais como é mostrado em [3], [4] e [1]. Lógica *fuzzy*, conjuntos *fuzzy*, sistemas *fuzzy*, e redes neurais *fuzzy* constituem hoje técnicas avançadas de inteligência computacional. Existem aplicações efetivas de métodos *fuzzy* em diagnóstico em cardiologia e de doenças do coração, em análise de eletromiogramas, em análise de eletroencefalogramas. Especificamente com relação à caracterização de sinais eletromiográficos e ao desenvolvimento de próteses, muitos resultados parciais também têm sido apresentados e o uso da lógica *fuzzy* se torna cada vez mais freqüente como se pode verificar em [1] e em [5]

A lógica *fuzzy* parece, assim, constituir uma metodologia eficiente para caracterização de sinais biológicos em sua complexidade. A Teoria do Raciocínio Aproximado, que constitui a base teórica da lógica *fuzzy* é um ambiente formal adequado ao desenvolvimento de raciocínios incertos, ambíguos, que contenham lacunas, potenciais inconsistências e principalmente complexidade, que parece ser o caso dessas áreas. A esse respeito ver [6], [7] e [8].

Por outro lado, o desenvolvimento de modelos formais que reproduzam experiências reais é um dos objetivos da inteligência computacional. Nesse aspecto os sistemas adaptativos exercem um importante papel por sua capacidade

M.M.G. Barreto trabalha no Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas, UFABC, 09210-971, Avenida dos Estados, 5001 – Bloco B – Sala 929 - Bairro Bangu, Santo André, SP. E-mail: mara.barreto@ufabc.edu.br.

A. Balbinot trabalha na Escola de Engenharia, no Departamento de Engenharia Elétrica, Laboratório de Instrumentação Eletro-Eletrônica, UFRGS 90035-190, Avenida Osvaldo Aranha, 103 – Sala 206, Porto Alegre, RS. E-mail: alexandre.balbinot@ufrgs.br.

de ajuste e auto-modificação. Os sistemas adaptativos neuro-fuzzy são capazes de representar modelos complexos da realidade com uma grande capacidade de variação.

Este artigo descreve de forma breve o sistema experimental que realiza os movimentos de abertura/fechamento da mão e rotação de punho (sentidos anti-horário e horário) de uma prótese experimental do segmento mão-braco, gerenciados por biosinais do sistema muscular, denominados de sinais mioelétricos, apresenta e valida um sistema de inferência neuro-fuzzy adaptativo desenvolvido para representar esse modelo experimental e reproduzir os *outputs* referentes aos movimentos esperados.

2 Aparato Experimental

O sinal mioelétrico é proveniente do potencial de ação que percorre a fibra muscular levando-a a contração (Ortolan, 2002). A eletromiografia (EMG) é considerada o estudo das funções musculares através da captação do sinal mioelétrico através de equipamentos (chamados de eletromiógrafos) que detectam, amplificam e apresentam o sinal mioelétrico em forma gráfica. A Figura 1 apresenta o digrama de blocos do sistema desenvolvido em [2].

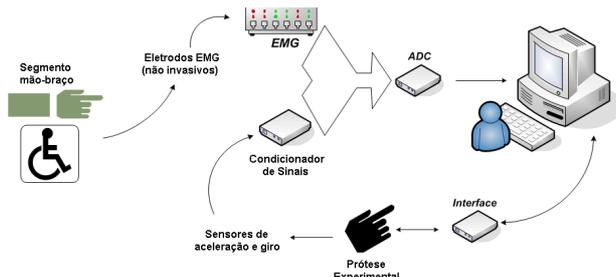


Figura 1. Diagrama de blocos do sistema experimental desenvolvido.

Eletrodos não invasivos são posicionados sobre um dos grupos musculares responsável pelo movimento da mão: flexor superficial dos dedos. Esses eletrodos recolhem os sinais mioelétricos que são amplificados e filtrados pelo eletromiógrafo de oito canais de configuração bipolar. O eletromiógrafo é um equipamento constituído de amplificadores de instrumentação e um banco de filtros adequados a aplicação. A placa de aquisição de dados (denominada de ADC) é a PCI-6024E com dezesseis canais de entrada com 12bits de resolução e duas saídas analógicas (denominada de Interface) com 12bits de resolução - atendendo assim todas as necessidades do sistema completo. Sensores para caracterização de aceleração (inclinação) e giro são utilizados como referência para o posicionamento espacial da prótese experimental. Para testar o sistema experimental foram realizados diversos ensaios de movimentos com relação à mão aberta, aperto leve e mão fechada.

Os sinais derivados do eletromiógrafo são armazenados durante um intervalo pré-determinado e filtrados digitalmente. Posteriormente, alguns parâmetros estatísticos, como por exemplo, valor r.m.s., a integral do sinal mioelétrico bruto (iEMG), entre outros, são obtidos para em seqüência controlar os movimentos da prótese de mão desenvolvida. A Figura 2

mostra algumas situações experimentais demonstrando o acionamento da prótese experimental em função dos movimentos realizados por um braço humano.

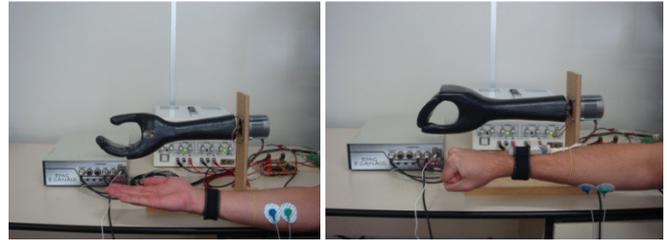


Figura 2. Ensaio demonstrando o funcionamento da prótese experimental em função dos movimentos espaciais do segmento mão-antebraço.

As Figuras 3 e 4 mostram os fluxogramas lógicos do aparato experimental desenvolvido.

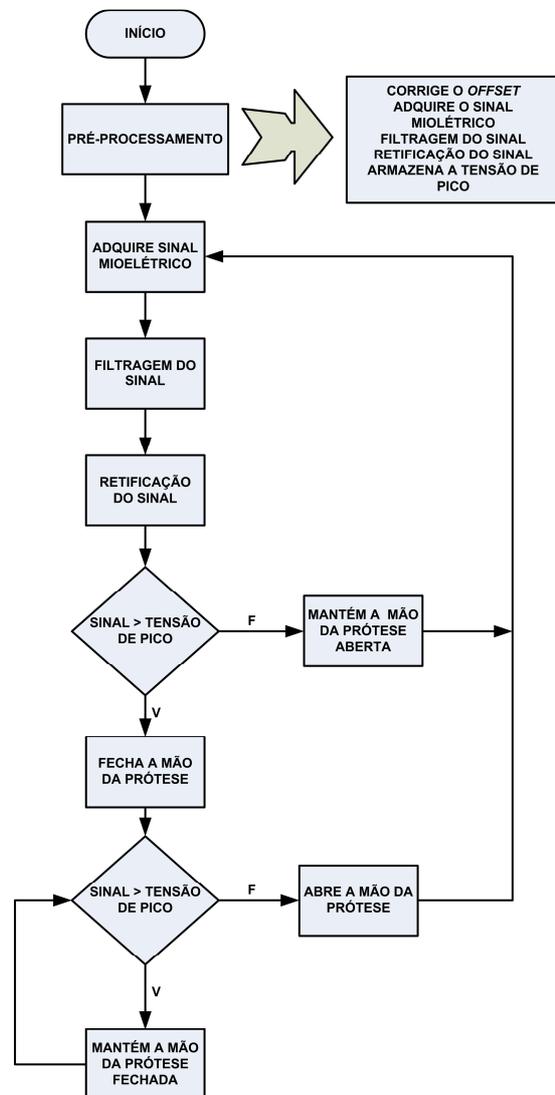


Figura 3. Fluxograma do processo – desde a aquisição do sinal mioelétrico, processamento do sinal bruto e controle simplificado da mão.

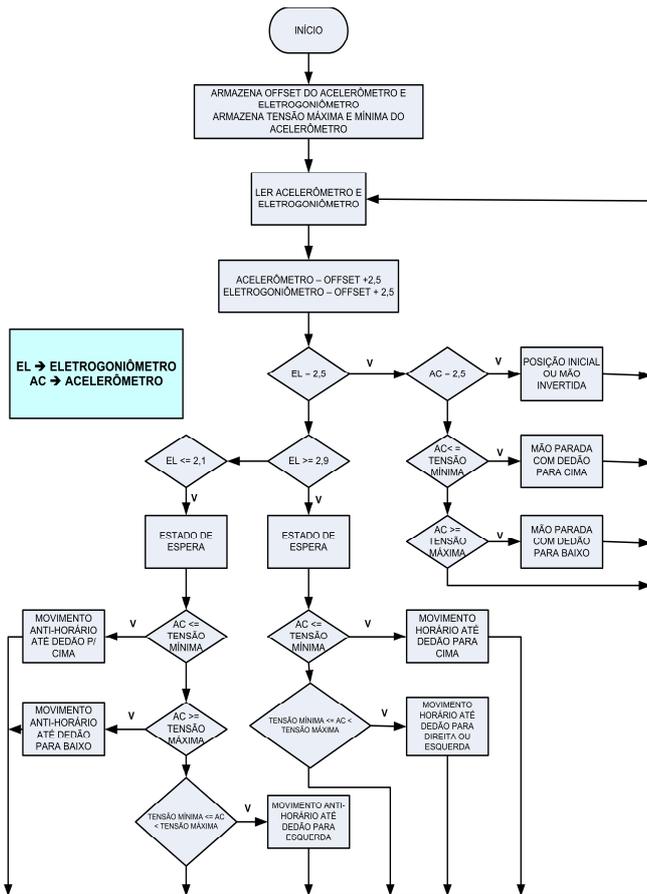


Figura 4. Fluxograma dos sensores que servem para auxiliar o posicionamento espacial da mão.

Os fluxogramas mostrados nas Figuras 3 e 4 serviram de base para o desenvolvimento do sistema de inferência neuro-fuzzy adaptativo descrito a seguir. Como pode ser observado, as variáveis de *input* e os parâmetros para determinação dos *outputs* correspondentes aos movimentos de abertura e fechamento da mão e de rotação do braço, estão presentes nos dois fluxogramas e se remetem aos dados obtidos na experimentação descrita. Assim, o sistema *fuzzy* desenvolvido para representar esse modelo deve conter as condições descritas nos fluxogramas para determinação dos movimentos.

3 Descrição do Sistema Neuro- Fuzzy Adaptativo

O sistema de inferência neuro-fuzzy adaptativo apresentado a seguir foi desenvolvido a partir dos fluxogramas anteriores e modela o posicionamento espacial do segmento mão-antebraço e o controle simplificado de abertura e fechamento da mão. O sistema foi implementado no Matlab®; seu nome é *prótese.mão*; o mecanismo de inferência utilizado na implementação é do tipo sugeno; os métodos *and*, *or*, e de defuzzificação são *mim*, *max* e *wtaver*, respectivamente. O sistema usa um algoritmo de aprendizado híbrido para identificar parâmetros de sistemas de inferência *fuzzy* do tipo sugeno.

O sistema possui três variáveis de *input*, 1 variável de *output* e dezesseis regras lógicas. As variáveis de *input* são *el*, *ac* e *rms* para eletrogoniômetro, acelerômetro e sinal, respectivamente, conforme os fluxogramas (Figuras 3 e 4). Foi definido um conjunto de valores para as variáveis de *input*. Foram definidas para cada variável de *input* três funções de pertinência: *baixo*, *médio* e *alto* para os possíveis valores a serem atribuídos com representação gaussiana. Foram definidos parâmetros constantes para a variável de *output* *prótese*. A Tabela 1 mostra os valores definidos para as variáveis de *input* e *output*.

Tabela 1: Valores estabelecidos e alcançados na validação do sistema de inferência *fuzzy* proposto.

Valores estabelecidos para <i>el</i>	Valores estabelecidos para <i>ac</i>	Valores estabelecidos para <i>rms</i>	<i>Outputs esperados para prótese</i>
2.5	2.5	2.7	1
2.5	2.5	2.3	2
2.9	1.7	3.4	3
2.9	1.7	2.1	4
2.1	1.7	3.4	5
2.1	1.7	2.1	6
2.1	5.0	3.4	7
2.1	5.5	2.5	8
2.1	3.8	3.2	9
2.1	3.5	2.5	10
2.9	3.9	3.2	11
2.9	3.3	2.4	12
2.5	1.6	3.2	13
2.5	1.7	2.2	14
2.5	5.0	3.0	15
2.5	4.8	2.5	16

Com a rotina de treinamento *anfis* do Matlab®, a partir dos valores e das definições acima, foi construído o sistema neuro-fuzzy *prótese.mão*, com as seguintes adaptações de parâmetros para as funções de pertinência:

- ✚ a variável de *input el* varia no intervalo [2.1 2.9] e tem as seguintes funções de pertinência: *baixo* (para valores ≤ 2.1), com representação gaussiana e parâmetros [0.1149 2.081]; *médio* (para valores em torno de 2.5), com representação gaussiana e parâmetros [0.131 2.488]; *alto* (para valores ≥ 2.9), com representação gaussiana e com parâmetros [0.1106 2.92];
- ✚ a variável de *input ac* varia no intervalo [1.6 5.5] e tem as seguintes funções de pertinência: *baixo* (para valores ≤ 1.7), com representação gaussiana e parâmetros [0.7843 1.567]; *médio* (para valores $1.7 < ac < 5.0$) e em torno de 2.5), com representação gaussiana e parâmetros [0.795 3.514]; *alto* (para valores ≥ 5.0), com representação gaussiana e parâmetros [0.8264 5.494];
- ✚ a variável de *input rms* varia no intervalo [2.1 3.4] e tem as seguintes funções de pertinência: *baixo* (para valores ≤ 2.5 , que é a tensão de pico), com representação gaussiana e parâmetros [0.1469 2.038];

médio (para valores em torno de 2.5), com representação gaussiana e parâmetros [0.2285 2.733]; *alto* (para valores > 2.5), com representação gaussiana e parâmetros [0.2587 3.406];

a variável de *output prótese* varia no intervalo [-18.91 26.41] e possui vinte e sete funções de pertinência, representadas pelas letras do alfabeto latino de *a* a *z* e *z2* e representação triangular; e cada uma delas, se refere a um possível movimento da prótese. Os movimentos descritos nos fluxogramas e que são mantidos pelo sistema neuro-fuzzy adaptativo *prótese. mão* são: *a* para representar movimento em sentido anti-horário até o dedão ficar para cima e mão aberta; *c* para representar movimento em sentido anti-horário até o dedão ficar para cima e mão fechada; *d* para representar movimento em sentido anti-horário até o dedão ficar para a esquerda e mão aberta; *f* para representar movimento em sentido anti-horário até o dedão ficar para a esquerda e mão fechada; *g* para representar movimento em sentido anti-horário até o dedão ficar para baixo e mão aberta; *i* para representar movimento em sentido anti-horário até o dedão ficar para a esquerda e mão fechada; *j* para representar o movimento mão parada com o dedão para cima e mão aberta; *l* para representar mão parada com o dedão para cima e mão fechada; *m* para representar posição inicial sem movimento e mão aberta; *o* para representar posição inicial sem movimento e mão fechada; *p* para representar mão para da com dedão para baixo e mão aberta; *r* para representar mão para da com dedão para baixo e mão fechada; *s* para representar posição inicial sem movimento e mão aberta; *u* para representar mão para da com dedão para baixo e mão fechada; *v* para representar movimento em sentido horário até o dedão ficar para a direita ou esquerda e mão aberta; *x* para representar movimento para a direita ou esquerda e mão fechada; *y* para representar movimento em sentido horário até o dedão ficar para baixo em sentido horário até o dedão ficar e mão aberta; *z* para representar movimento em sentido horário até o dedão ficar para baixo e mão semi-aberta; *z2* para representar movimento em sentido horário até o dedão ficar para baixo e mão fechada.

Os movimentos não descritos nos fluxogramas e que são adaptados pelo sistema neuro-fuzzy adaptativo *prótese. mão* são: *b* para representar movimento em sentido anti-horário até o dedão ficar para cima e mão semi-aberta; *e* para representar movimento em sentido anti-horário até o dedão ficar para a esquerda e mão semi-aberta; *h* para representar movimento em sentido anti-horário até o dedão ficar para a esquerda e mão semi-aberta; *k* para representar mão parada com o dedão para cima e mão semi-aberta; *n* para representar posição inicial sem movimento e mão semi-aberta; *q* para representar mão para da com dedão para baixo e mão semi-aberta; *t* para representar mão para da com dedão para baixo e mão semi-aberta; *w* para representar movimento em sentido horário até o dedão ficar para a direita ou esquerda e mão semi-aberta. Como se pode observar, as regras adaptadas pelo

sistema são referentes à possibilidade de uma posição intermediária de semi-abertura para a mão. As vinte e sete regras lógicas são mostradas na Tabela 2.

Tabela 2: Regras lógicas do sistema neuro-fuzzy adaptativo.

Regra	Descrição da Regra
R1	Se <i>el</i> é baixo e <i>ac</i> é baixo e <i>rms</i> é baixo então <i>a</i> ;
R2	Se <i>el</i> é baixo e <i>ac</i> é baixo e <i>rms</i> é médio então <i>b</i> ;
R3	Se <i>el</i> é baixo e <i>ac</i> é baixo <i>rms</i> é alto então <i>c</i> ;
R4	Se <i>el</i> é baixo e <i>ac</i> é médio e <i>rms</i> é baixo então <i>d</i> ;
R5	Se <i>el</i> é baixo e <i>ac</i> é médio e <i>rms</i> é médio então <i>e</i> ;
R6	Se <i>el</i> é baixo e <i>ac</i> é médio e <i>rms</i> é alto então <i>f</i> ;
R7	Se <i>el</i> é baixo e <i>ac</i> é alto e <i>rms</i> é baixo então <i>g</i> ;
R8	Se <i>el</i> é baixo e <i>ac</i> é alto e <i>rms</i> é médio então <i>h</i> ;
R9	Se <i>el</i> é baixo e <i>ac</i> é alto e <i>rms</i> é alto então <i>i</i> ;
R10	Se <i>el</i> é médio e <i>ac</i> é baixo e <i>rms</i> é baixo então <i>j</i> ;
R11	Se <i>el</i> é médio e <i>ac</i> é baixo e <i>rms</i> é médio então <i>k</i> ;
R12	Se <i>el</i> é médio e <i>ac</i> é baixo e <i>rms</i> é alto então <i>l</i> ;
R13	Se <i>el</i> é médio e <i>ac</i> é médio e <i>rms</i> é baixo então <i>m</i> ;
R14	Se <i>el</i> é médio e <i>ac</i> é médio <i>rms</i> é médio então <i>n</i> ;
R15	Se <i>el</i> é médio e <i>ac</i> é médio e <i>rms</i> é alto então <i>o</i> ;
R16	Se <i>el</i> é médio e <i>ac</i> é alto e <i>rms</i> é baixo então <i>p</i> .
R17	Se <i>el</i> é médio e <i>ac</i> é alto e <i>rms</i> is médio então <i>q</i> ;
R18	Se <i>el</i> é médio e <i>ac</i> é alto e <i>rms</i> é alto então <i>r</i> ;
R19	Se <i>el</i> é alto e <i>ac</i> é baixo e <i>rms</i> é baixo então <i>s</i> ;
R20	Se <i>el</i> é alto e <i>ac</i> é baixo <i>rms</i> é médio então <i>t</i> ;
R21	Se <i>el</i> é alto e <i>ac</i> é baixo e <i>rms</i> é alto então <i>u</i> ;
R22	Se <i>el</i> é alto e <i>ac</i> é médio e <i>rms</i> é baixo então <i>v</i> .
R23	Se <i>el</i> é alto e <i>ac</i> é médio e <i>rms</i> é médio então <i>w</i> ;
R24	Se <i>el</i> é alto e <i>ac</i> é médio e <i>rms</i> é alto então <i>x</i> ;
R25	Se <i>el</i> é alto e <i>ac</i> é alto e <i>rms</i> é baixo então <i>y</i> ;
R26	Se <i>el</i> é alto e <i>ac</i> é alto e <i>rms</i> é médio então <i>z</i> ;
R27	Se <i>el</i> é alto e <i>ac</i> é alto e <i>rms</i> é alto então <i>z2</i> ;

A Figura 5 mostra a estrutura do sistema neuro-fuzzy adaptativo *prótese.mão*.

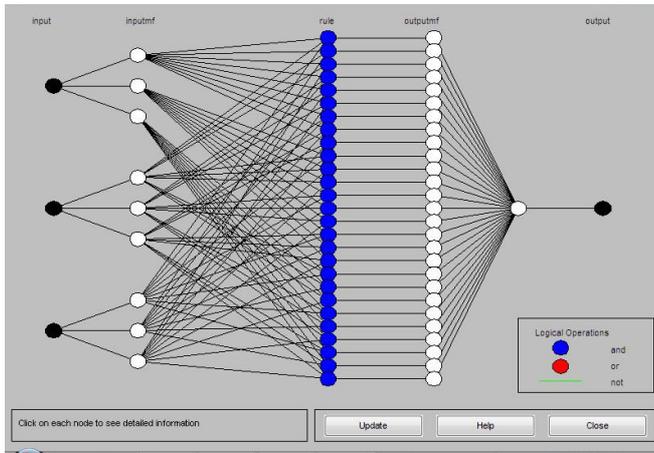


Figura 5. Estrutura do sistema adaptativo neuro-fuzzy para controle de uma prótese de mão.

Os primeiros três círculos pretos representam os *inputs*; os nove primeiros círculos brancos representam as funções de pertinência para cada *input*; os círculos azuis representam as vinte e sete regras lógicas; os vinte e sete círculos brancos ao lado das regras lógicas representam os *outputs* para cada regra especificamente; o último círculo branco, os *outputs* agregados e o último círculo preto representa o *output* final, que determina o movimento da prótese.

O sistema de inferência neuro-fuzzy adaptativo possui setenta e oito nós e quarenta e oito parâmetros divididos em vinte e sete parâmetros lineares para as funções de pertinência das variáveis de *input* e dezoito parâmetros não lineares para as funções de pertinência da variável de output.

4. Resultados

O sistema de inferência neuro-fuzzy foi treinado para os valores estabelecidos inicialmente (ver Tabela 1) através do comando *training data*. Em seguida foi feita a validação do sistema através dos comandos *testing data* e *checking data*. O comando *testing data* testou a capacidade de generalização do sistema, a partir de seu treinamento, para um segundo conjunto de valores atribuídos às variáveis, próximos aos valores para os quais foi treinado. O comando *checking data* verificou se o conjunto de dados utilizados pelo *testing data* para validar o sistema é um conjunto adequado ao modelo. Para o processo de validação, foram utilizados os valores para *el*, *ac*, *rms* e *prótese*, mostrados na Tabela 3. Ambos os conjuntos de valores usados para treinamento e validação do sistema estão dentro do escopo das variáveis de *input*, descrito nos fluxogramas mostrados nas Figuras 3 e 4 que refletem o modelo lógico do aparato experimental.

Tabela 3: Valores testados para ver a capacidade de generalização do sistema neuro-fuzzy

Valores estabelecidos para <i>el</i>	Valores estabelecidos para <i>ac</i>	Valores estabelecidos para <i>rms</i>	Outputs obtidos para <i>prótese</i>
2.5	2.5	2.6	1
2.5	2.5	2.2	2
2.9	1.7	3.3	3
2.9	1.7	2.1	4
2.1	1.7	3.3	5
2.1	1.7	2.1	6
2.1	5.0	3.38	7
2.1	5.5	2.51	8
2.1	3.8	3.17	9
2.1	3.5	2.48	10
2.9	3.9	3.1	11
2.9	3.3	2.45	12
2.5	1.6	3.21	13
2.5	1.7	2.1	14
2.5	5.0	3.25	15
2.5	4.8	2.51	16

A Figura 6 mostra o resultado do treinamento do sistema neuro-fuzzy adaptativo *prótese.mão* para o conjunto de dados constantes na Tabela 1.

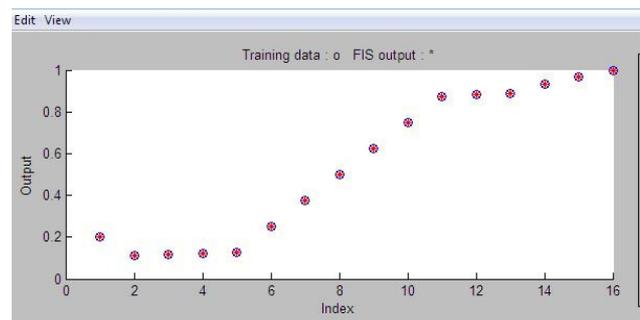


Figura 6: Treinamento do sistema neuro-fuzzy adaptativo *prótese.mão*.

O gráfico da Figura 6 mostra que o sistema foi adequadamente treinado para os dados considerados para as variáveis de *input* e *output*. A Figura 7 mostra o resultado do teste do sistema, a partir de seu treinamento, que se mostrou adequado, com relação à sua capacidade de generalização para ajuste de parâmetros para o novo conjunto de valores, apresentados na Tabela 3.

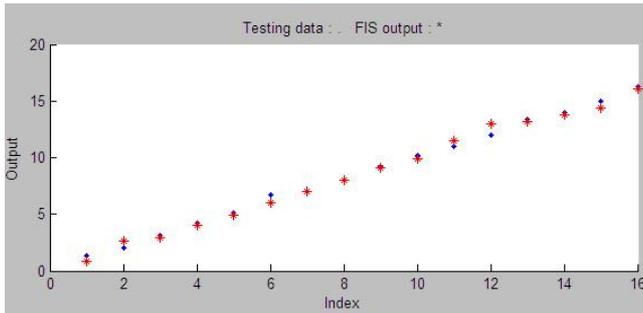


Figura 7: Teste da capacidade de generalização do sistema neuro-fuzzy adaptativo *prótese.mão*.

O gráfico da Figura 7 mostra que o sistema neuro-fuzzy adaptativo possui boa capacidade de generalização a partir de seu treinamento para dados novos semelhantes, ou com valores aproximados, como pode ser conferido pelas Tabelas 1 e 3. Como já foi visto, a Tabela 1 exibe os valores para os quais o sistema foi treinado; a Tabela 3 exibe os novos dados usados para testar sua capacidade de generalização. A Figura 8 compara os conjuntos de dados usados para treinar o sistema e o conjunto de dados usados para testar o sistema e verifica se esse segundo conjunto de dados é adequado para validar o modelo, de acordo com a margem de erros que apresenta.

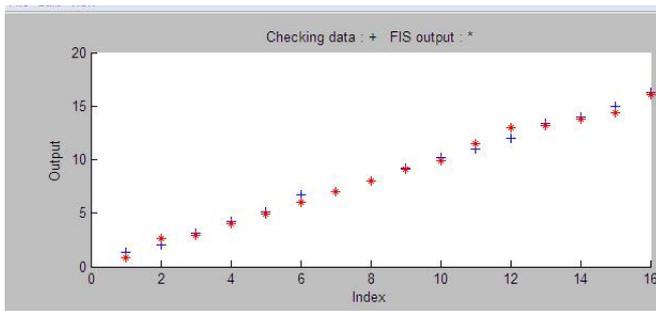


Figura 8: Comparação dos conjuntos de dados usados para treinamento e validação do sistema neuro-fuzzy adaptativo.

O gráfico da Figura 8 mostra que o conjunto de dados utilizados para teste da capacidade de generalização do sistema neuro-fuzzy adaptativo é satisfatório com relação ao conjunto de dados usados para treinamento do sistema.

6. Discussão

O método utilizado no desenvolvimento do sistema proposto foi o ANFIS (*Adaptive neuro-fuzzy inference system*) que utiliza um algoritmo de aprendizado híbrido para identificar parâmetros em sistemas de inferência fuzzy do tipo Sugeno. Ele constitui uma combinação do método *Backpropagation* e do método *Least-squares* para treinar os parâmetros das funções de pertinência para emular conjuntos de dados.

O trabalho apresenta uma aplicação desse método à representação computacional dos movimentos de abertura, fechamento e rotação de uma prótese do segmento mão-braço. O sistema foi testado para valores referentes ao escopo definido para cada variável a partir de testes realizados com o

aparato experimental descrito. O sistema foi testado também para valores de *input* relativamente diferentes dos definidos a partir do aparato experimental. Para esses valores, o sistema redefiniu os parâmetros para as funções de pertinência das variáveis de input, mostrando-se assim, auto-modificável. A esses novos parâmetros foram relacionadas novas possibilidades de movimentos com relação à abertura e o fechamento da prótese, não previstos na experimentação.

7. Conclusões

O sistema neuro-fuzzy adaptativo foi adequadamente treinado, mostrou boa capacidade de generalização e o conjunto de dados utilizado para testar a capacidade de generalização do sistema é satisfatório com relação ao conjunto de dados utilizado no treinamento do sistema.

O conjunto de regras do fluxograma, que dizem respeito à experimentação, foi adaptado, permitindo a possibilidade de mais movimentos para a prótese, como se pode comparar nos fluxogramas apresentados nas Figuras 3 e 4, na Tabela 2 e na descrição do sistema apresentado anteriormente, na página 4.

O sistema neuro-fuzzy adaptativo *prótese.mão* consegue reproduzir o modelo experimental, uma vez que possui todas as regras dos fluxogramas referentes à movimentação da prótese. Além disso, expande as possibilidades e movimentos da prótese porque possui regras que relacionam os parâmetros adaptados a novos movimentos não previstos nos fluxogramas apresentados.

O trabalho apresenta assim, um resultado parcial, mas significativo para o desenvolvimento de tecnologia assistiva nacional, com o uso de inteligência computacional, através do uso de métodos neuro-fuzzy no controle de movimentos de próteses.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) pelo apoio financeiro.

Referências Bibliográficas

- [1] Begg, R., Lai, D.T.H. e Palaniswami, M. (2008). *Computational Intelligence in Biomedical Engineering*, CRC Press
- [2] Balbinot, A., Tomaszewski, J. R., e Marques, P. (2007). Eletromiografia, acelerômetro, eletrogoniômetro e tecnologia OpenGL para controle de próteses experimentais. *II Encontro Nacional de Biomecânica, Évora. Actas do II Encontro Nacional de Biomecânica*. Lisboa - Portugal: IST Press, 2007. v. I. p. 381-386.
- [3] Teodorescu, H.L., Kandel, A. e Lain, L.C. (Editors) (1998). *Fuzzy and Neuro-Fuzzy Systems in Medicine. International Series in Computational Intelligence*, CRC.

- [4] Steimann, F. (2001). On the Use and Usefulness of Fuzzy Sets in Medical AI. *Artificial Intelligence in Medicine*, Volume 21, Issues 1-3, p.131-137.
- [5] Yahud, S., e Abu Osman, N. A. (2007). Prosthetic Hand for the Brain-computer Interface System. In: Ibrain, F., Abu Osman, N. A. e Usman, J., Kadri, N.A. (Editors), *Biomed 06, IFMBE Proceedings*, 15, 643-646.
- [6] Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy Sets, *Information and Control*, 8, 338-353.
- [7] _____. (1969). Biological Applications of the Theory of Fuzzy Sets and Systems. In: *Biocybernetics of the Central Nervous System*. Little Brown & CO., p.199-212.
- [8] _____. (1975). The Concept of Linguistic Variables and its Application to Approximate Reasoning – I, II, III. *Information Sciences*.8, 199-249, 8, 301-357, 9, 43-80.



Mara M. G. Barreto nasceu no Rio de Janeiro, Brasil, em 4 de setembro de 1964. É Bacharel em Filosofia pelo Instituto de Filosofia e Ciências Sociais (IFCS)/UFRJ; Mestra em Engenharia de Produção pela COPPE/UFRJ; Doutora em Engenharia Civil, na área de concentração Sistemas Computacionais, COPPE/UFRJ. Possui Pós-doutorado no Instituto de Estudos Avançados da USP, na área Lógica e Teoria da Ciência, desenvolvido parcialmente no Departamento de Fisiologia da Escola Paulista de Medicina (EPM)/UNIFESP.

Atualmente Professora Adjunta II do Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas (CECS) da Universidade Federal do ABC (UFABC), atuando nas seguintes áreas: modelagem lógica - fundamentos e aplicações; desenvolvimento de modelos fuzzy e neuro-fuzzy para engenharia; tecnologia assistiva; desenvolvimento de interface cérebro-computador (BCI) fuzzy; sistemas de apoio à decisão em diagnóstico médico; lógica e argumentação.



Alexandre Balbinot nasceu no Rio Grande do Sul, Brasil, em 27 de março de 1970. É Engenheiro Eletricista pela PUCRS; Mestre em Processamento Digital de Sinais pela PUCRS; Mestre em Engenharia Biomecânica pela UFRGS e Doutor em Engenharia Biomecânica pela UFRGS. Atualmente é Professor Adjunto I da Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) atuando nas seguintes áreas: instrumentação biomédica,

instrumentação biomecânica, desenvolvimento de dispositivos de tecnologia assistiva; desenvolvimento de interfaces cérebro-computador (Brain Computer Interfacing), desenvolvimento e avaliação de sistemas para caracterização de movimentos do corpo humano: sua interface com realidade virtual e realidade aumentada e aplicações de inteligência computacional.