

TRILHOS: EFICIÊNCIA E NOVOS RUMOS



Análise Classificatória dos Alarmes de Wayside Abordagem por Sistema de Inferência Neuro-Fuzzy Adaptativa

Arthur Filgueiras
Carmo Melo
Nilton Freitas
Wiler Reginaldo

AUTORES

- **Arthur Filgueiras:** Engenheiro Eletricista pela Universidade Federal de Juiz de Fora. Especialista Ferroviário - Ciência de Dados. Experiência na área de Engenharia de Manutenção e Processos; Confiabilidade Eletroeletrônica e Via Permanente; modelagem e otimização aplicada a sistemas dinâmicos, além de análise exploratória de dados através de métodos de inteligência computacional. Publicações e participações incluem IHHA 2019, The Rise of IoT & Big Data in Rail 2018, ARDC North America 2018, Data Analytics Innovation Harvard Business Review 2019.
- **Carmo Melo:** Carreira com experiência desde 1990 em Tecnologia da Informação, cursando pós-graduação em Ciência de Dados na Mackenzie, desempenhando pesquisa e desenvolvimento no setor, acumulando sete anos de estudos acadêmicos na área de TI e na área de Gestão de Projetos. Possui capacitação RUP, Arquitetura J2EE, Linux, Gestão de Projeto de Tecnologia PMP, Análise de Pontos de Função, SOA Suite e Gestão de Projetos ágeis com Scrum.
- **Wiler Reginaldo:** Graduado em Logística com pós-graduação em Engenharia de Produção e Técnicas de Gerenciamento de Projeto, possui uma sólida experiência em projetos de estruturação e melhorias tecnológicas, adquiridas nos mais de 33 anos de ferrovia, sendo a maioria deles dedicados a estudos técnicos utilizando o conhecimento de operação ferroviária principalmente para área do CCO (Centro de Controle Operacional). Excelência em instrução e competência aplicados em simulações de operações ferroviárias, atreladas a uma dinâmica de grupo envolvendo públicos internos e externos.
- **Nilton Freitas:** Mestre em Engenharia e Ciência de Materiais, Engenheiro de Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa, Especialização em Transporte Ferroviário de Carga pelo IME, atualmente Consultor Ferroviário com 14 anos de experiência Ferroviária, sendo 10 anos na área de Waysides.

OBJETIVOS

- Classificar as condições dos alarmes de Waysides através de inteligência computacional por Lógica Fuzzy e Redes Neurais Artificiais.
- Maior assertividade na gestão dos processos de manutenção baseada na condição (CBM).
- Evitar riscos operacionais que estejam associados à interpretação de um operador responsável pela integridade do ativo pela perspectiva do Centro de Diagnóstico de Confiabilidade (CDC).
- A abordagem do método de inteligência computacional pode proporcionar a incorporação de informações que não seriam agregadas anteriormente em tempo hábil de resposta apenas na mão do homem.

WAYSIDES – HOT BOX E HOT WHEEL

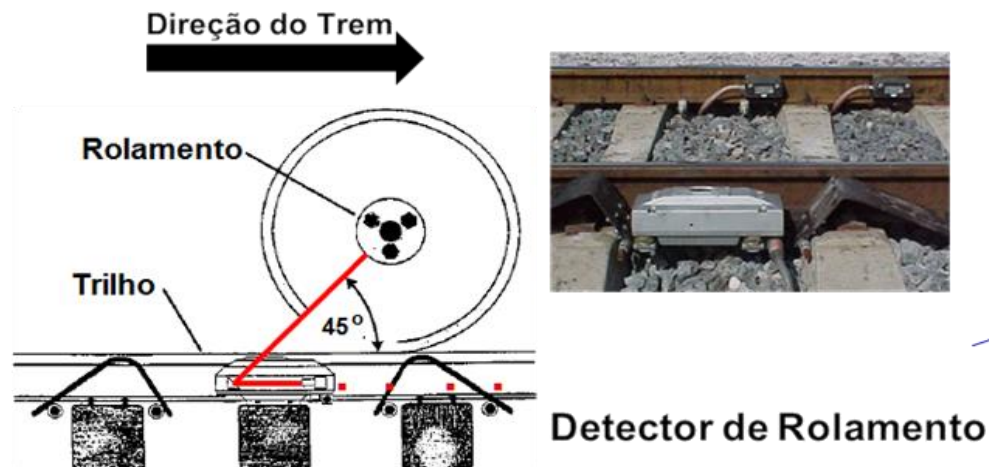


Figura 1 - Esquemático de instalação HBD. Fonte:[10].

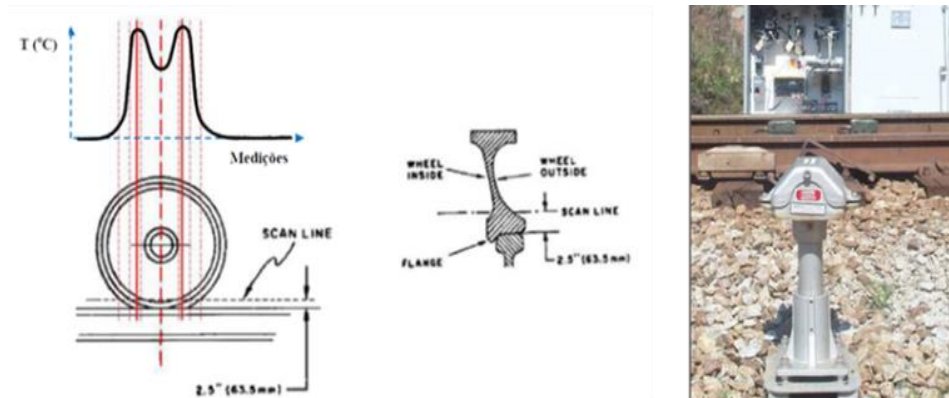


Figura 2 - Esquemático de instalação HWD. Fonte: [10].

WAYSIDES – CONDIÇÕES DE INTERVENÇÃO

Tabela 1 - Equipamento, suas respectivas condições e os tipos de intervenção segundo análise especialista.

Equipamento	Condição	Tipo de intervenção	T[°C]
Hot Box	Alarme de Tendência	Programada	> 40
Alarme Diferencial (HBD)	Imediata	Intervenção conforme procedimento interno.	> 40 entre os lados / >55 absoluto
Alarme Absoluto	Imediata	Intervenção conforme procedimento interno	HBD > 70 / HWD > 200
Alarme Saturação	Interferência Externa	Programada	Máx. (fundo de escala) HBD > 140 / HWD > 520
Hot Wheel (Alarme Falso)	Diferença entre as médias (Trem Vazio)	Imediata	> 15
Hot Wheel (Alarme Falso)	Diferença entre as médias (Trem Carregado)	Imediata	> 20

CONCEITO – LÓGICA FUZZY

- Criado por L.A. Zadeh a com o objetivo de fornecer um ferramental matemático para o tratamento de informações de característica imprecisa.
- Conjunto de regras linguísticas na conversão da interpretação semântica em um formato numérico.

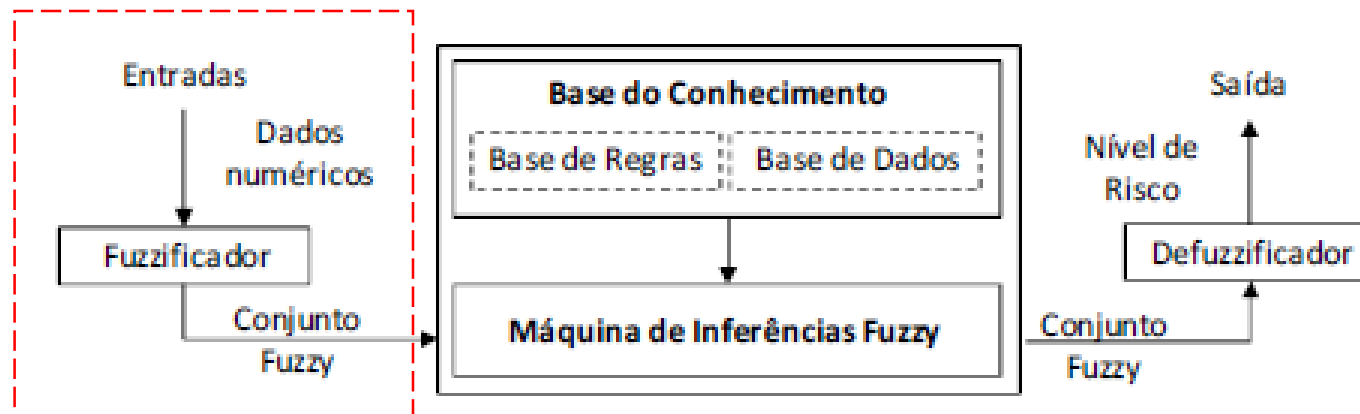


Figura 3 – Esquemático Sistema de Inferência Fuzzy [13].

FUNÇÕES DE PERTINÊNCIA

- Em conjuntos contínuos, a função de pertinência é uma função matemática, geralmente representada pelas funções triangulares, trapezoidais ou gaussianas.

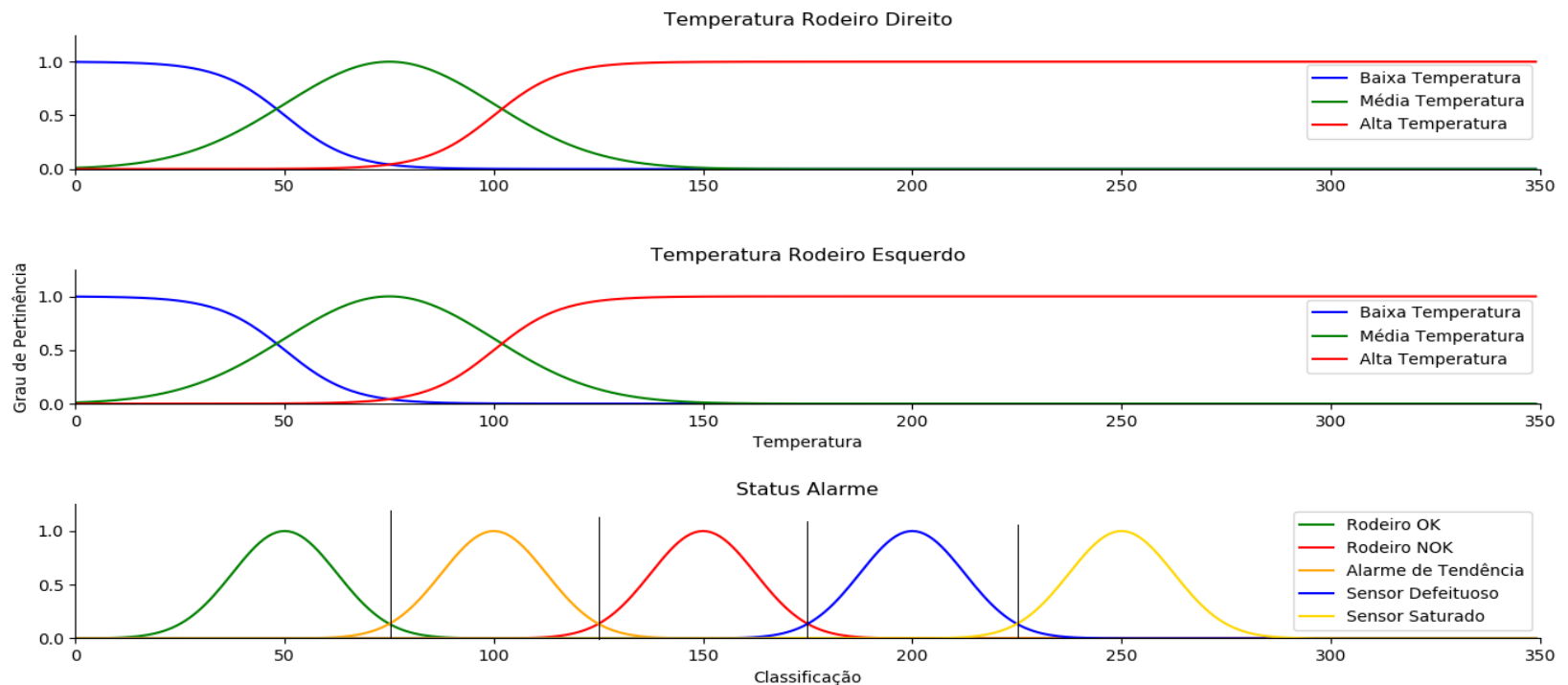
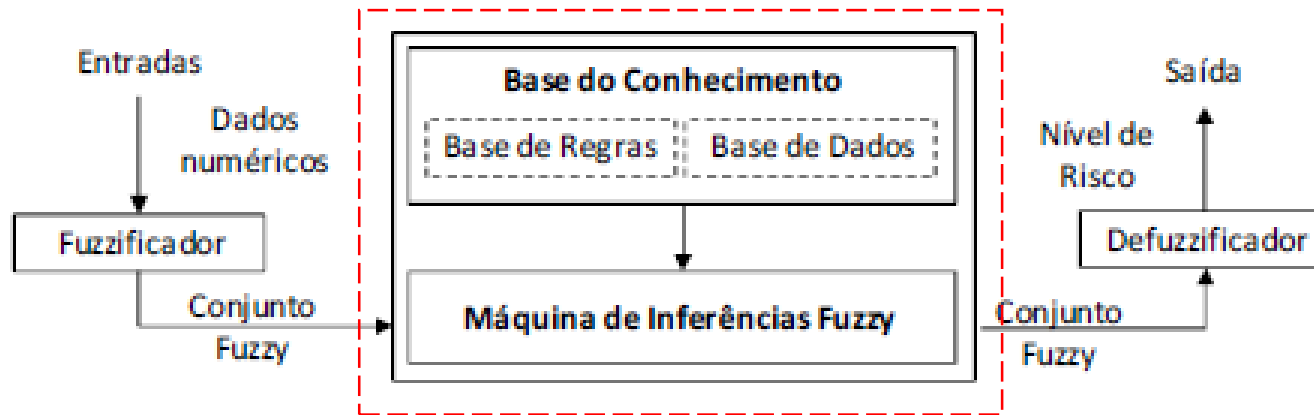


Figura 4 – Funções de pertinência iniciais segundo valor de temperatura por rodeiro. Fonte: Software Python.

SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY



Lógica Booleana

$$f_A = \begin{cases} 1 & \text{se e somente se } X \in A \\ 0 & \text{se e somente se } X \notin A \end{cases}$$

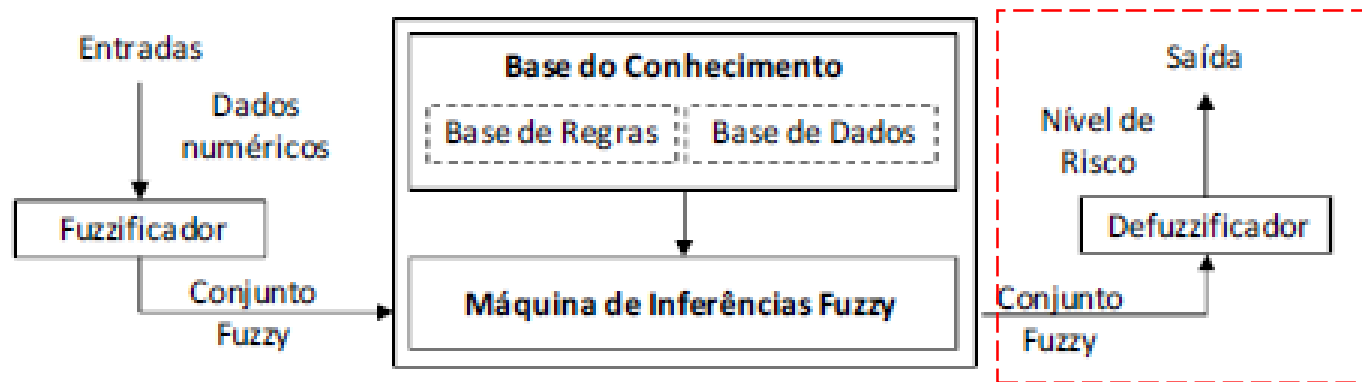
Lógica Fuzzy

$$\mu_A(x): X \rightarrow [0,1], \quad A = \{\mu_A(x)/x\} \quad x \in X$$

$$f_{A_i} = \begin{cases} X_i \in B, & \text{se } x_i \in A \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

DEFUZZIFICAÇÃO – COMPOSIÇÃO MAX-MIN

- Processo utilizado para fornecer um valor numérico de saída dos sistemas fuzzy.



Composição Max-Min

$$f(x, z) = \{(x, z), \max [\min(f(x, y), f(y, z))]\}$$

DEFUZZIFICAÇÃO – MÉTODO CENTROID

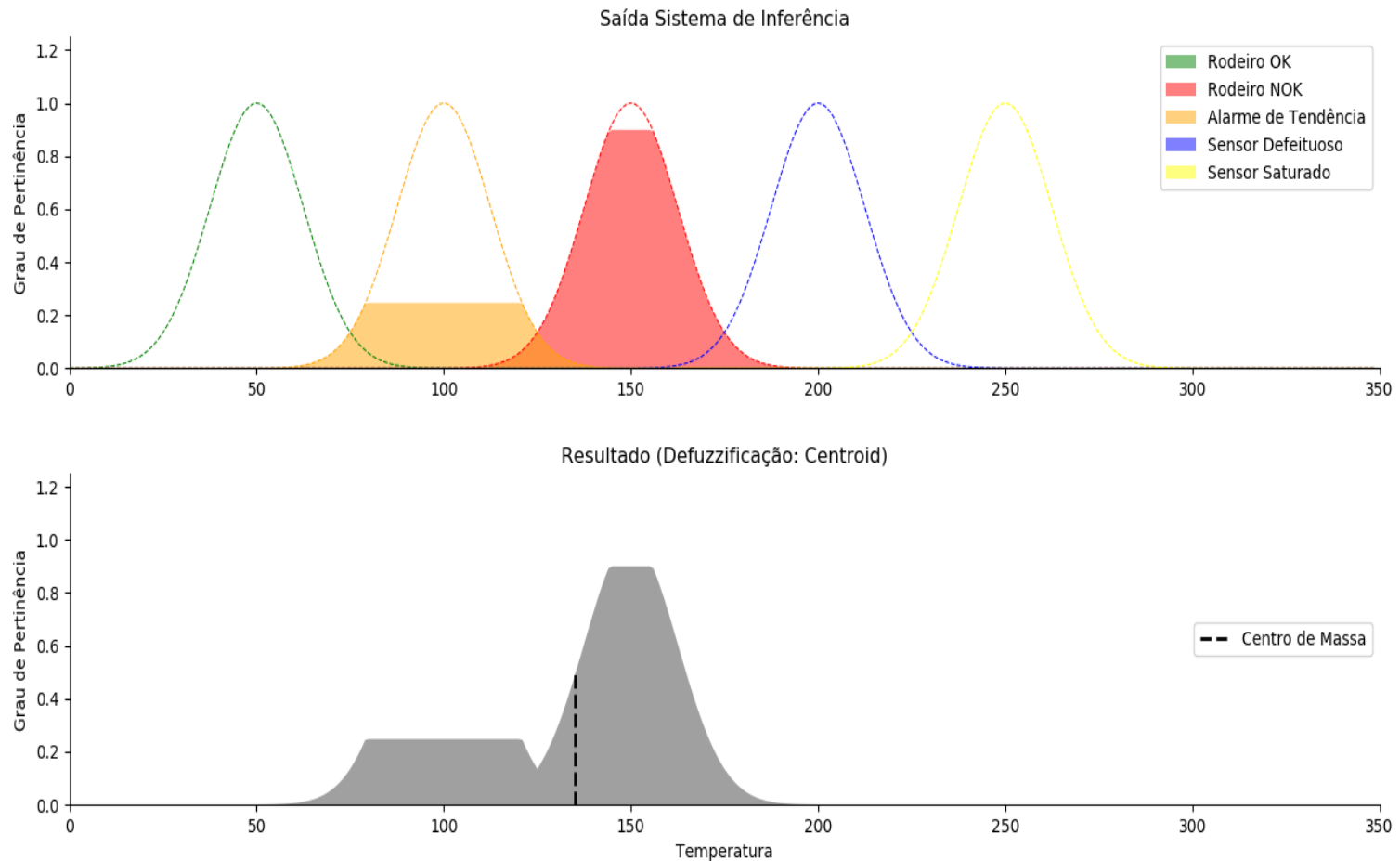


Figura 5 – Funções de pertinência reajustadas pela rede ANFIS segundo valor de temperatura por rodeiro.

Figura 6 – Composição Max-Min das funções de pertinência na defuzzificação pelo centro de massa (Centroid).

NEURO-FUZZY ADAPTATIVA (ANFIS)

- O modelo de inteligência computacional explorado por lógica fuzzy para análises classificatórias se mostra uma metodologia madura, mas carece de qualidade adaptativa.
- Utiliza-se a hibridização com redes neurais artificiais (ANN) do tipo Perceptron de Multi Camadas (MLP) para garantir a qualidade do aprendizado semi-supervisionado mediante a aquisição de novos dados.

NEURO-FUZZY ADAPTATIVA (ANFIS)

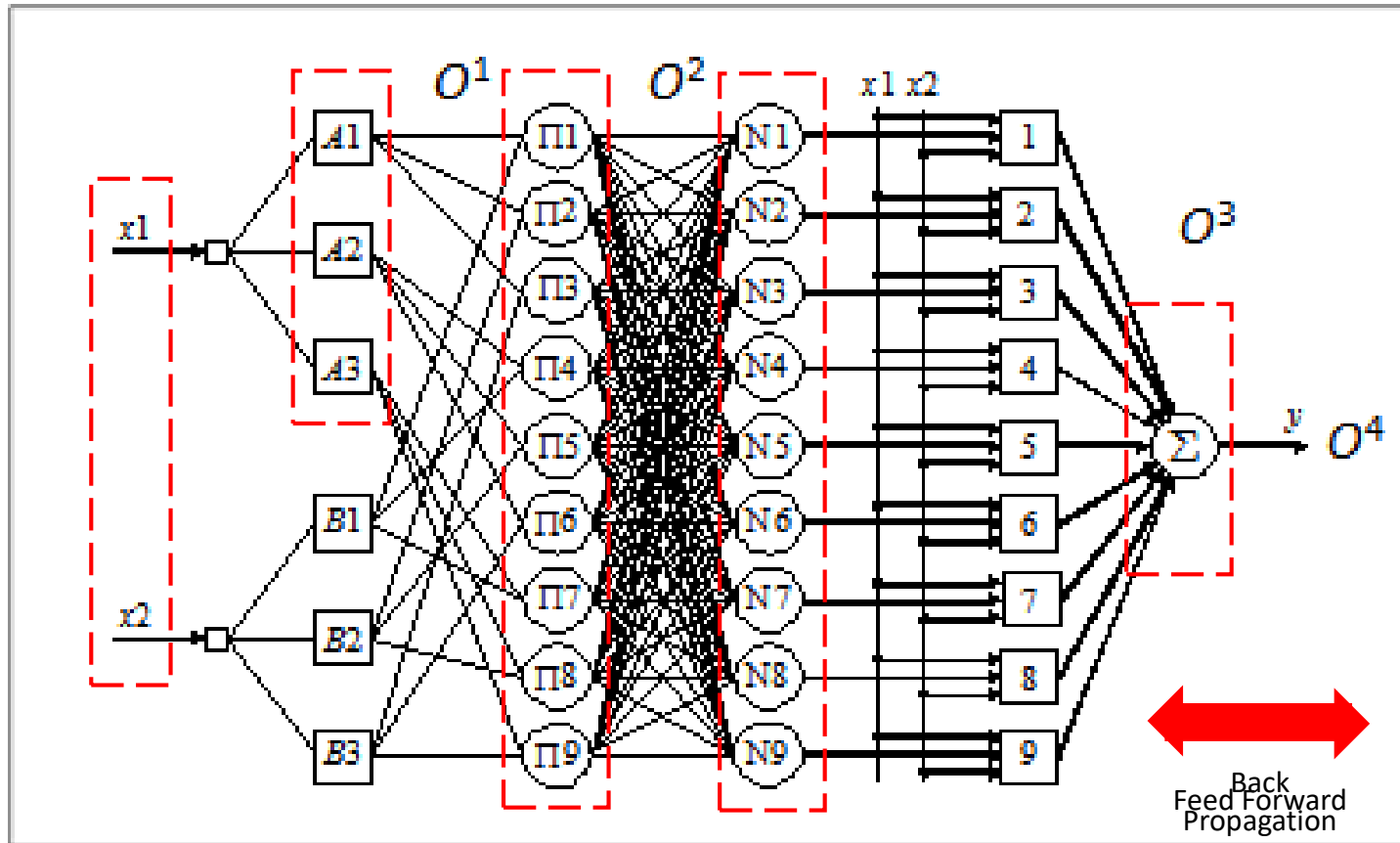


Figura 7 – Topologia rede ANFIS. Fonte: Adaptado de [22].

ANÁLISE DOS RESULTADOS

- Os testes foram conduzidos com dados operacionais de equipamentos em campo formando um universo com mais de 5000 amostras que compreendem:
 - Situações ideais de operação.
 - Situações em que houve comprometimento do material rodante.
 - Situações de falso positivo (defeito nos sensores).
 - Situações que representavam um alarme preditivo através de tendência.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

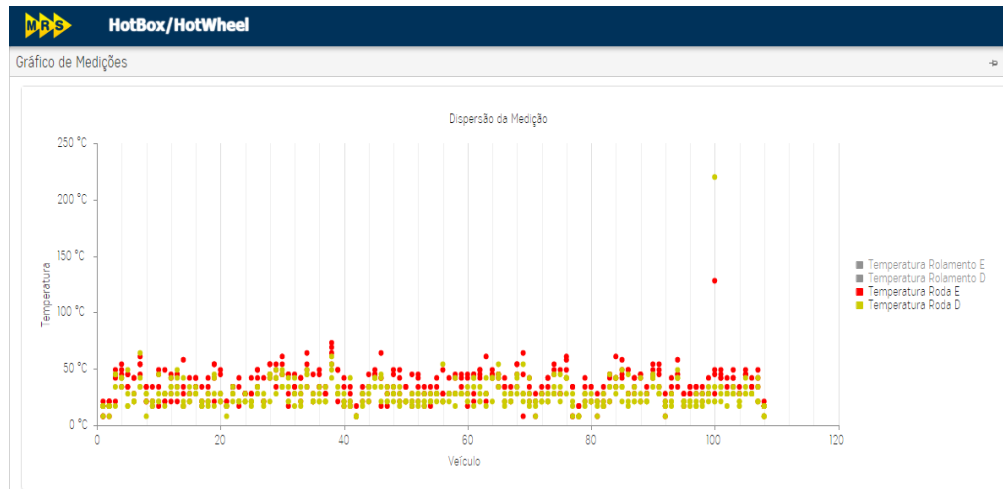


Figura 8 – Gráfico de dispersão do HWD para uma composição específica. Fonte: Sistema Automaweb.

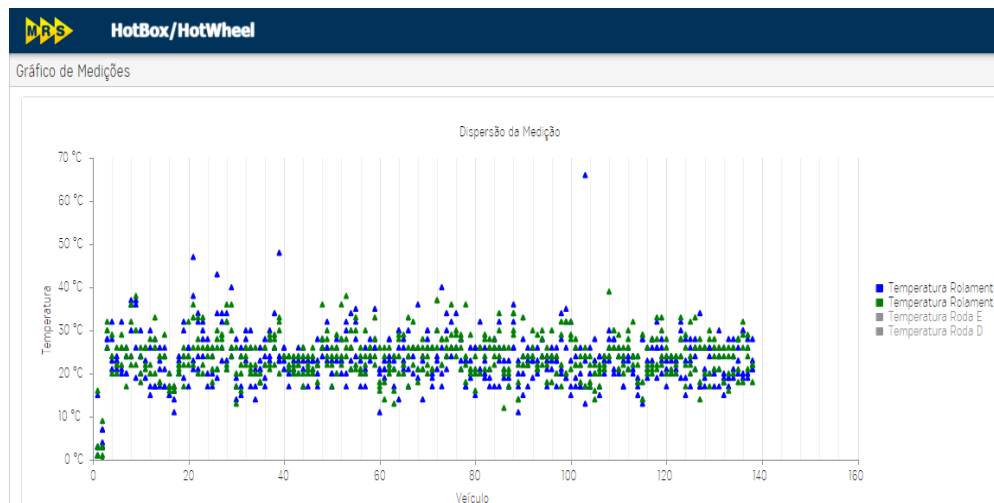


Figura 8 – Gráfico de dispersão do HBD para uma composição específica. Fonte: Sistema Automaweb.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

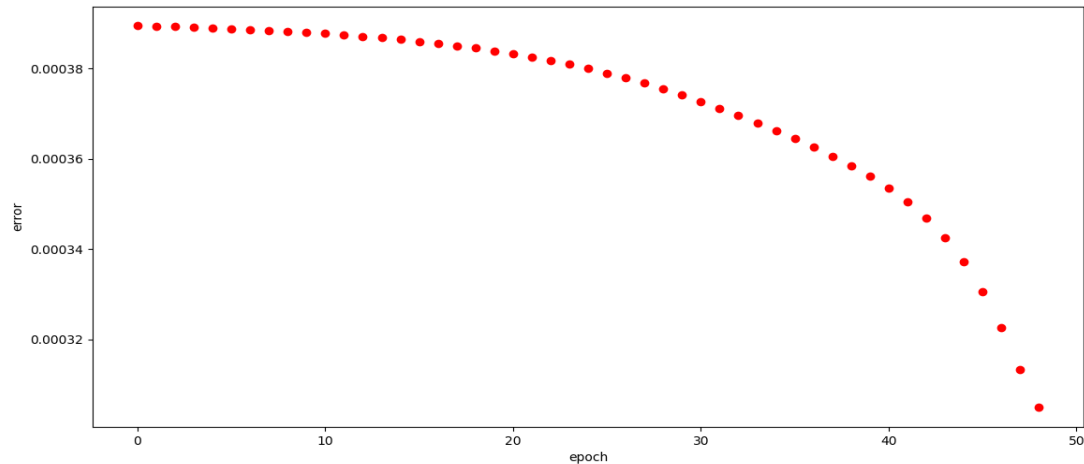


Figura 9 – Erro associado do sistema de treinamento.

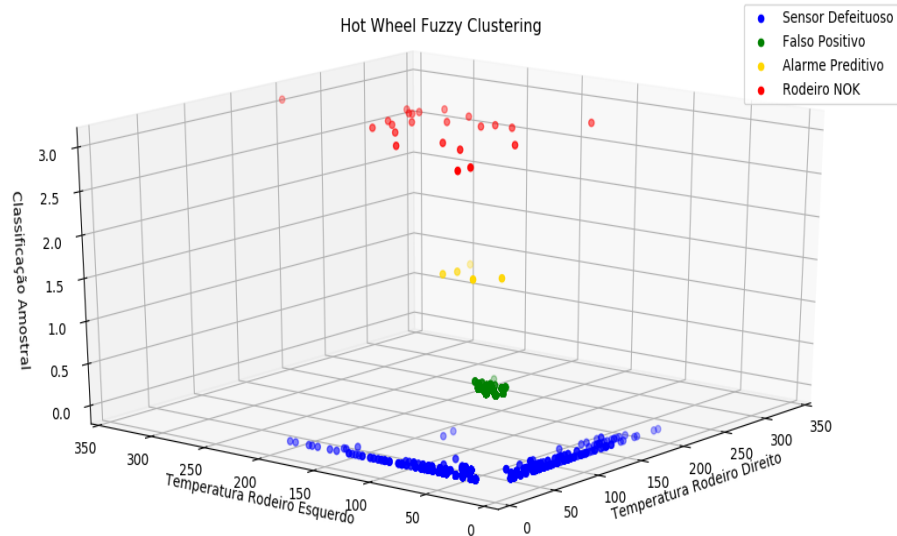
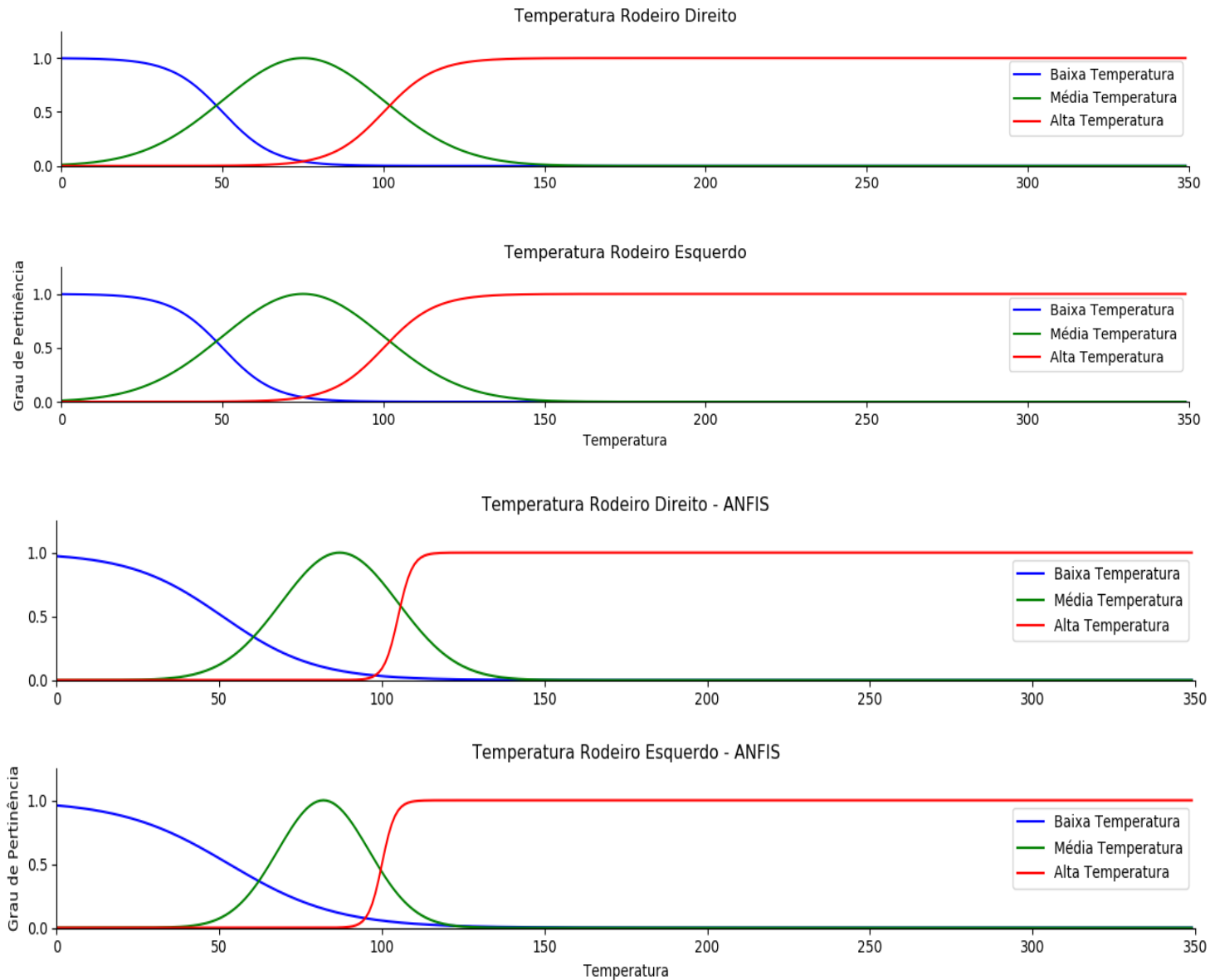


Figura 10 – Partição FCM para classificação do status de rodeiros.

ANÁLISE DOS RESULTADOS



ANÁLISE DOS RESULTADOS

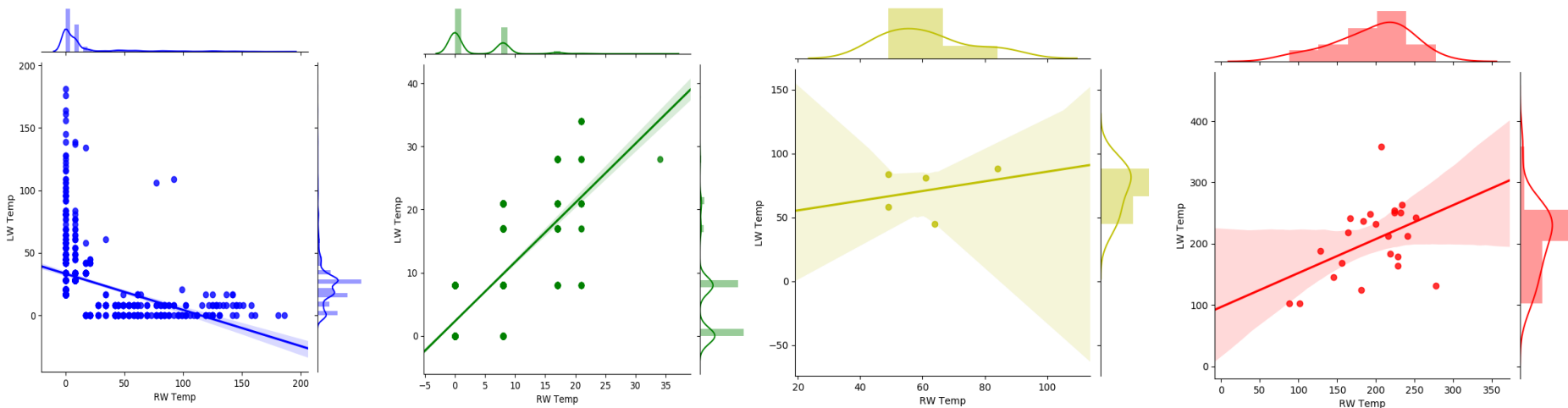
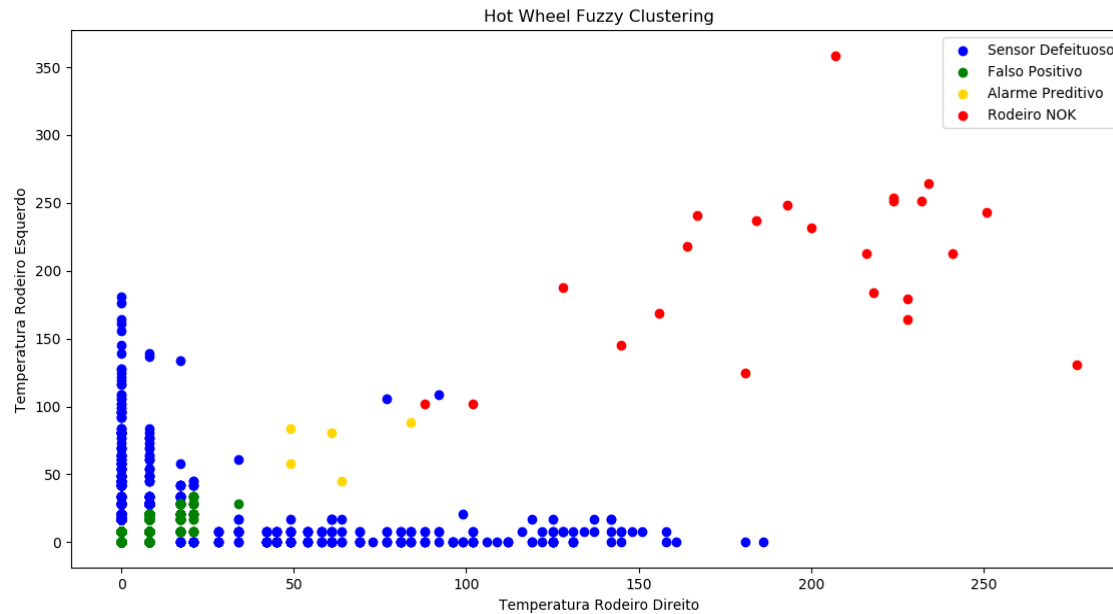


Figura 10 – Partição FCM para classificação e regressão de status de alarme por rodeiro.

CONCLUSÕES

- O tratamento dos dados fazendo uso da inteligência artificial, é capaz de conferir maior agilidade ao processo decisório, entretanto alguns importantes aspectos ainda devem ser levados em consideração:
 - Maior concentração de defeitos no equipamento de medição de temperatura (defeito de configuração, vandalismos e fatores externos) chamando atenção como principal fragilidade.
 - Padrão bem definido para situações de falso positivo.
 - Padrão bem definido para situações de defeito nos rodeiros com valores de variância consideravelmente mais alta.
 - Alta incerteza para o comportamento definido pelos pontos de tendência de falha (justificado pelo número escasso de amostras).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ANTF - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTADORES FERROVIÁRIOS. Informações Gerais. Disponível em: <<http://www.antf.org.br/informacoes-gerais/>>. Acesso em: 03 dez 2017.
- [2] CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE - CNT. Anuário CNT do Transporte 2017. Disponível em:
<http://cms.cnt.org.br/Imagens%20CNT/PDFs%20CNT/Anu%C3%A1rio/anuario%20ferroviario.pdf>. Acesso em: 03 dez 2017.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. Confiabilidade e manutenibilidade: NBR ISO 5462. Rio de Janeiro, 1994. [4] DIAS, M. A. Logística, transporte e infraestrutura. 1 ed. São Paulo: Editora Atlas, 2012. 340p.
- [4] GOULART, Fernando S.; FIDALGO, Robson do N.. Data Mining. Pernambuco: UFPE, 1998. 42 slides
- [5] KARDEC, A.; NASCIF, J. Manutenção - Função Estratégica. 2 ed. Rio de Janeiro: QualityMark, 2001. 361p.
- [6] MRS LOGÍSTICA. MRS. Disponível em: <<https://www.mrs.com.br/>>. Acesso em: 03 dez 2017.
- [7] TEÓFILO, L. C. Um Modelo de Avaliação da Manutenção de um Veículo Ferroviário. 1989. 146 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Instituto Militar de Engenharia – IME, Rio de Janeiro.
- [8] XENOS, H. G. Gerenciando a Manutenção Produtiva. 1 ed. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 2004. 302p.
- [9] MENDONÇA, Luciana. Inovação tecnológica no Brasil. O setor elétrico, São Paulo, ed. 73, fev. 2012.
- [10]. Hot Wheel Detector Sub-System and Software Manual – Progress Rail Services, a Caterpillar Company, 2012.
- [11] MENDEL, J. M., Fuzzy Logic Systems for Engineering: a Tutorial, Proc. IEEE, V. 83, No. 3, pp. 345-377, 1995.
- [12] KLIR, George J. & YUAN, B., Fuzzy Sets and Fuzzy Logic – Theory and Applications, Prentice Hall PTR, 1995.
- [13] ROSS, T.J., Fuzzy Logic with Engineering Applications, 2oEdition, John Wiley & Sons, 2004.
- [14] ZIMMERMANN, H. J., Fuzzy Set Theory and Its Applications, 2nd Edition, Kluwer Academic Publishers, 1994.
- [15] ZADEH, L.A., Fuzzy Sets as a Basis for a Theory of Possibility. Fuzzy Sets and Systems, Vo
- [16] ZADEH, L.A., A Fuzzy Algorithmic Approach to the Definition of Complex or Imprecise Concepts. Int. Journal of Man-Machine Studies, Vol.8: 249-291.
- [17] MORETO, M. & CIESLAK, D. A. G., Fuzzy Inference System to Automatic Fault Classification in Power Plants. IEEE Latin America Transactions, Vol. 14 Nº 2, Feb. 2016.
- [18] MAHANTY, R. N. & GUPTA, P. B. D., A Fuzzy Logic Based Fault Classification Approach using Current Samples Only. Electric Power Systems Research 77.
- [19] GOMIDE, F., LEMOS, A., CAMINHAS, Multivariable Gaussian Evolving Fuzzy Modeling System. IEEE Transaction on Fuzzy Systems, Vol. 19, Nº 1, Feb. 2011.
- [20] GOMIDE, F., LEMOS, A., CAMINHAS, W., SILVA, A. M., A Fast Learning Algorithm for Evolving Neo-Fuzzy Neuron. Applied Soft computing 14.
- [21] MUTHUVIJAYALAKSHMI, M., KUMAR, E., VENKATESAN, P., Classification of TB Disease Diagnosis Using ANFIS. International Journal of Current Research, Vol. 6, Nº9 Sep. 2014.
- [22] JANG, S. R., “ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system,” IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, vol. 23, no. 3, pp. 665–685, 1993.
- [23] GÜLER, I., ÜBEYLI, E. D., Adaptative Neuro-Fuzzy Inference System for Classification of EEG Signals Using Wavelet Coefficients. Journal of Neuroscience Methods 148.
- [24] CHEN, C., JOHN, R., TWYCCROSS, J., GARIBALDI, J. M., An Extended ANFIS Architecture and its Learning Properties for Type-1 and Interval Type-2 Models.
- [25] KAMEL, T. S., HASSAN, M. A. M., ANFIS for Fault Classification in the Transmission Lines. The Online Journal on Electronics and Electrical Engineering, Vol.2.
- [26] RUSPINI, E.H., Numerical methods for fuzzy clustering, Information Science, 2, 319-350,1970.
- [27] The Scikit-Image Team, The Scikit-Fuzzy Documentation, Release 0.2, Jun. 2016. Python Libraries.
- [28] MIT License Anfis for Python. Acesso em Nov. 2018: <https://github.com/twmeggs/anfis>.
- [29] SILVA, H. P., Análise do Processo de Manutenção – Estudo de Caso MRS Logística. Universidade Salgado de Oliveira, 2017.
- [30] ABDULSHAHED, A. M., LONGSTAFF, A. P., FLETCHER, S., MYERS, A., Thermal Error Modelling of Machine Tools Based on ANFIS with Fuzzy C-Means Clustering using a Thermal Image Camera – Applied Mathematical Modelling, School of Computing and Engineering, University of Huddersfield, Queensgate, 2015.