

## ESTIMADOR DE QUALIDADE DE ENLACE DE NÓS SENSORES SEM FIO COM FILTRO LPA2v E REDE NEURAL ARTIFICIAL PARA CONSISTENTE

ARNALDO DE CARVALHO JR<sup>1</sup>, JOÃO INACIO DA SILVA FILHO<sup>2</sup>, MAURICIO C. MARIO<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Mestre em Eng. Mecânica (UNISANTA 2017), Professor/pesquisador IFSP, Cubatão, [adecarvalhojr@ifsp.edu.br](mailto:adecarvalhojr@ifsp.edu.br).

<sup>2</sup> Pós-doutorado em Sistemas de Computadores (INESC – PORTO 2009), Doutor em Eng. Elétrica (POLI USP 2001), Professor/pesquisador na UNISANTA, Santos-SP, [inacio@unisanta.br](mailto:inacio@unisanta.br).

<sup>3</sup> Doutor em Ciências (FMUSP 2006), Professor/pesquisador da UNISANTA, Santos-SP, [cmario@unisanta.br](mailto:cmario@unisanta.br).  
Eletrônica Industrial, Sistemas e Controles Eletrônicos, 3.04.05.02-5.

Apresentado no 8º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2017  
06 a 09 de novembro de 2017 - Cubatão - SP, Brasil

**RESUMO** - Os Nós Sensores Sem Fio são parte importante dos Processos Industriais Conectados (ou Internet das Coisas Industriais) e tornaram-se possíveis devido ao desenvolvimento de sistemas de rádio eficientes, baixo consumo de energia, fácil instalação e menores requisitos de infraestrutura que sistemas tradicionais de automação. Entretanto, vários fatores afetam a performance de um enlace de radiofrequência e podem representar um grande desafio ao projeto e implantação de uma rede de nós sensores sem fio em ambiente industrial. Nessas condições, a Lógica Paraconsistente pode ser uma alternativa à lógica clássica para o tratamento de sinais que podem representar informações contraditórias, incompletas ou contaminadas por ruído. O presente trabalho utiliza os algoritmos extraídos dos fundamentos da Lógica Paraconsistente Anotada com anotação de dois valores (LPA2v) para filtrar as métricas de intensidade e qualidade do sinal recebido no enlace de radiofrequência, fornecidas pelos nós sensores sem fio, e utilizá-las para formular uma indicação única e confiável, através de um Estimador da Qualidade do Enlace, construído com Rede Neural Artificial Paraconsistente - RNAP, denominada de EQE-LPA.

**PALAVRAS-CHAVE** - EQE-LPA; Filtro LPA2v; RNAP; LPA; Nó Sensor Sem Fio.

### LINK QUALITY ESTIMATOR OF WIRELESS SENSOR NODES WITH PAL2V FILTER AND PARA CONSISTENT ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

**ABSTRACT** - The Wireless Sensor Nodes are important part of the Industrial Connected Processes (or Industrial Internet of Things – IIoT) and are possible due to the development of efficient radio frequency systems, low energy consumption, easy installation and less infrastructure requirements than traditional automation systems. However, several factors affect the performance of the radio link and may represent a great challenge to the design and deployment of a wireless sensor network in the industrial environment. Under these conditions, Paraconsistent Logic may be an alternative to classical logic for the treatment of signals that may represent contradictory, incomplete or noise-contaminated information. This work uses the algorithms extracted from the fundamentals of the Paraconsistent Annotated Logic with annotation of two values (PAL2v) to filter the intensity and quality metrics of the received signal in the radio frequency link, provided by the wireless sensor nodes, in order to formulate a unique, robust and reliable indication through a Link Quality Estimator, built with Paraconsistent Artificial Neural Network - PANNet, called as LQE-PAL.

**KEYWORDS** – LQE-PAL; PAL2v Filter; PANNet; PAL; Wireless Sensor Node.

### INTRODUÇÃO

A implantação de instrumentação industrial sem fio pode significar de 20 a 30% de economia, se comparado a sistemas cabeados (WERB, 2014). Vários padrões de Nós Sensores Sem Fio (NSSF) são baseados na norma IEEE 802.15.4. Os enlaces de NSSF podem sofrer flutuações de qualidade e conectividade devido a vários fatores, tais como: baixa potência de transmissão, sensibilidade ao ruído, interferência e distorção de multipercursos. Uma indicação confiável da Estimativa da Qualidade do

Enlace – EQE (*Link Quality Estimation – LQE*) é necessária para a implantação de uma rede de sensores sem fio (RSSF) e para a pilha de protocolos sobre a camada IEEE 802.15.4, como os protocolos de controle da topologia, roteamento e mobilidade (BACCOUR et al., 2014). Quando múltiplas inferências apresentam inconsistências, a Lógica Paraconsistente Anotada com anotação de 2 valores – LPA2v pode auxiliar na resolução de conflitos através do conhecimento de evidências (DA SILVA FILHO 2008, 2012). Este trabalho apresenta os resultados de um EQE elaborado com Rede Neural Artificial Paraconsistente – RNAP e algoritmos da LPA2v para filtrar as métricas *RSSI* e *LQI* e apresentar um indicador único, robusto e confiável da qualidade de enlace de NSSF (CARVALHO, 2017).

## MATERIAL & MÉTODOS

A RNAP proposta, formada por células neurais artificiais paraconsistentes (cNAP) de aprendizagem por extração do efeito da contradição – cNAPapxct (para os Filtros LPA2v) e padrão cNAPp para o indicador consolidado do EQE-LPA, é apresentada na Figura 1. A métrica *RSSI* normalizada fornece o grau de evidência favorável ao enlace, enquanto que a métrica *LQI* normalizada e complementada fornece o grau de evidência desfavorável ao enlace. O indicador numérico do EQE-LPA corresponde ao grau de evidência resultante real ( $\mu_{ER}$ ) da análise realizada pela cNAPp.

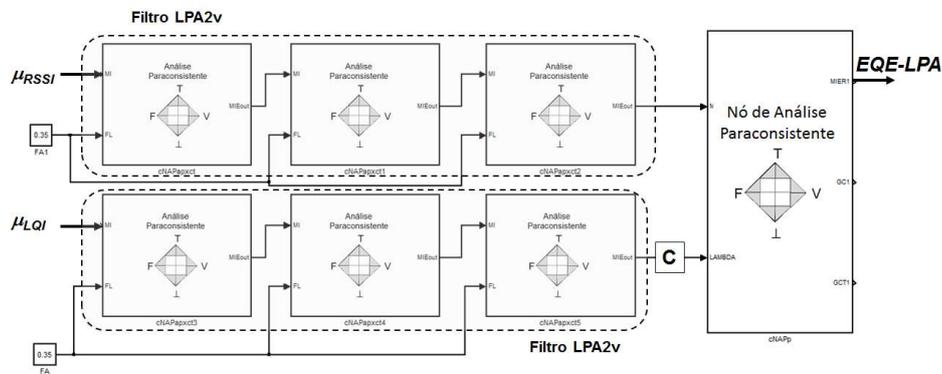


FIGURA 1. RNAP com 2 Filtros LPA2v, 3x cNAPapxct cada, e 1 CNAPp (CARVALHO, 2017)

Um algoritmo em MATLAB® 2008 é utilizado para importar o arquivo *log* com as métricas de *RSSI* e *LQI* dos pacotes recebidos pelo nó receptor, separar as métricas e acionar uma simulação em SIMULINK, que normaliza as métricas de acordo com a LPA2v, executa a RNAP e exporta os resultados de saída dos filtros e do indicador do EQE-LPA de volta para o MATLAB para tratamento e exibição dos resultados em forma gráfica, conforme apresentado na Figura 2.

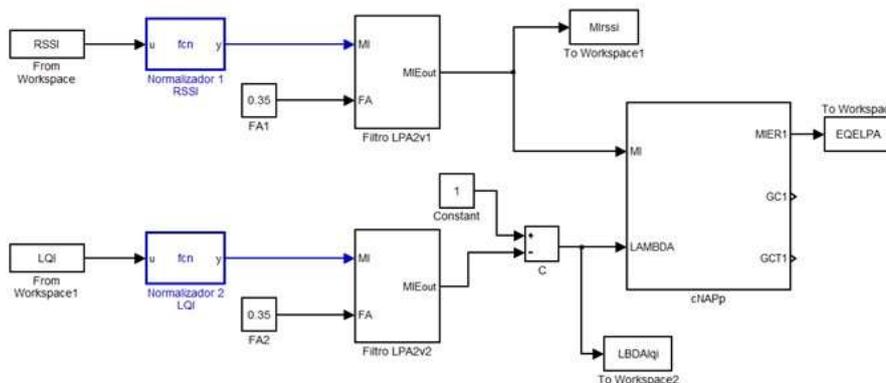


FIGURA 2. EQE-LPA construído no MATLAB® SIMULINK (CARVALHO, 2017)

Um par de sensores modelo UBEE da FRACTUM são utilizados nos ensaios para coleta das medições de *RSSI* e *LQI*. Como fonte de interferência para forçar a degradação do enlace é utilizada uma câmera sem fio modelo Wireless Observation System 100m da TRUST, que funciona na mesma faixa de frequência dos sensores. Os ensaios são realizados com os sensores em diferentes distâncias, com ou sem a presença do interferente e velocidade da interface serial a 115,2 kbps.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos ensaios consolidados, com (245 amostras) e sem interferência (225 amostras), em diferentes distâncias (1m, 5m, 10m e 12m) são apresentados na Figura 3, a seguir.

Pode-se perceber que ambas as métricas *RSSI* e *LQI* apresentam flutuações tanto na situação sem interferência (Figura 3a) como com interferência presente (Figura 3c). As flutuações da métrica *LQI* aumentam significativamente no cenário de interferência (conforme Figura 3c).

Conforme as figuras 3b e 3d, os filtros LPA2v foram capazes de extrair as médias dinâmicas de *RSSI* e *LQI*, permitindo à cNAPp apresentar um indicador único com menos flutuações na saída. Pode-se perceber ainda ao se comparar as Figuras 3b e 3d que a presença do interferente força a degradação do enlace, mesmo com sinal forte (*RSSI*). Na figura 3b o estimador varia entre “EXCELENTE” e “RAZOÁVEL”. Já na figura 3d a saída do estimador varia entre “RAZOÁVEL” e “PÉSSIMO”.

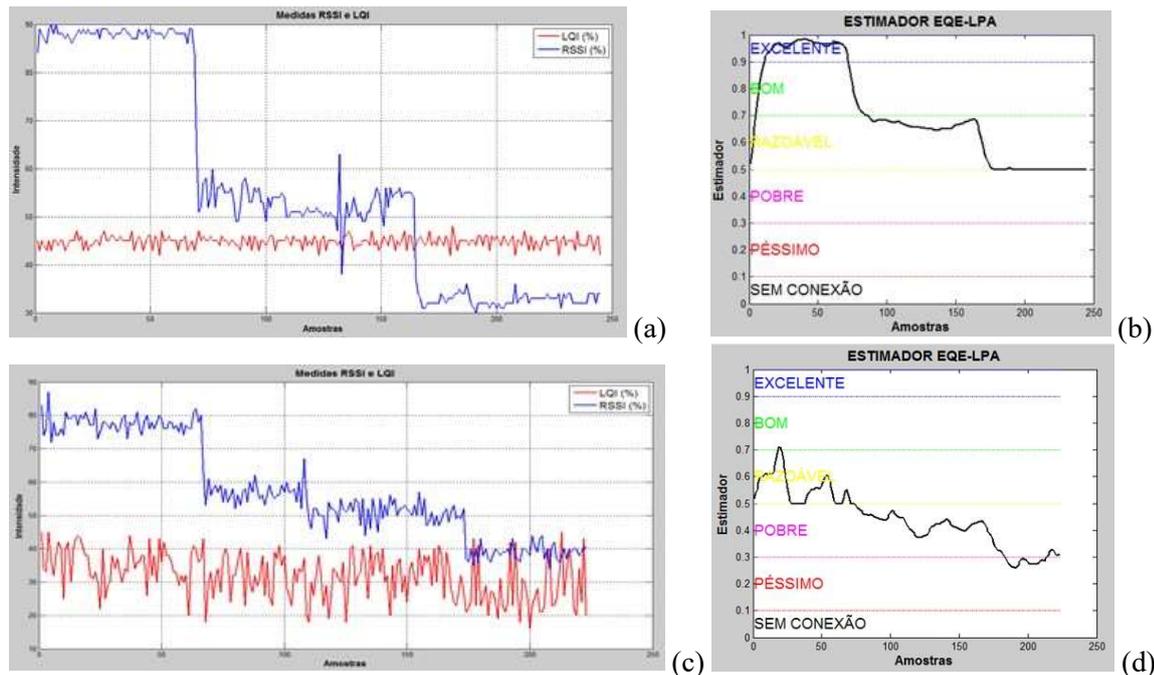


FIGURA 3. Sinais *RSSI* e *LQI* sem interferência (a), saída correspondente do EQE-LPA (b), sinais *RSSI* e *LQI* na presença de interferência (c) e saída correspondente do EQE-LPA (d).

## CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi alcançado e um Estimador da Qualidade do Enlace utilizando uma RNAP foi desenvolvido, denominado EQE-LPA, e testado com as métricas *RSSI* e *LQI* disponíveis e coletadas em ensaios com transceptores de uso comercial. Um arranjo de cNAPapxct foi elaborado de forma inovadora como Filtro de Média (Filtro LPA2v), parte de uma RNAP para extrair a média móvel das flutuações inerentes das métricas *RSSI* e *LQI*, contaminadas por ruídos, interferências e imprecisões. O desenvolvimento do EQE-LPA aponta para um futuro promissor para as Lógicas não clássicas em aplicações na área de RSSF, seja para aplicações Industriais ou para a *Internet* das Coisas.

## REFERÊNCIAS

- BACCOUR, N. et al. A Fuzzy Link Quality Estimator for Wireless Sensor Networks. In Proceedings of the 7th European Conference on Wireless Sensor Networks, pp. 240-255, 2010.
- CARVALHO JR, A. Proposta de Estimador de Qualidade de Enlace em Redes de Sensores Industriais Sem Fio Utilizando Rede Neural Artificial Paraconsistente. 2017. 113f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Mecânica) – Universidade Santa Cecília – UNISANTA, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Santos – SP, 2017.
- DA SILVA FILHO, J. I. Lógica Paraconsistente e Probabilidade Pragmática no Tratamento de Incertezas. Revista Seleção Documental, n. 9, a.3, p.16-27, 2008.
- WERB, J. ISA100 Wireless Applications, Technology, and Systems - A Tutorial White Paper. ASCI - Automation Standards Compliance Institute, 2014.