

Proposta de Índices para Avaliação de Instabilidade de Sinal em RSSF Operando em Ambiente Industrial

Vitor Q. Pereira*, Omar C. Branquinho*, Cilene R. Real*, Pedro Chaves* e Fernando Lino**

Resumo - Este artigo apresenta uma proposta de índices, obtidos em tempo real, que avaliam o comportamento da intensidade de sinal recebido (RSSI) em uma rede de sensores sem fio (RSSF), operando em um ambiente industrial, para subsidiar a tomada de decisão do sistema de gerência para reconfiguração da rede. Esses índices são obtidos com base no Diagrama de Caixa da janela deslizante das últimas amostras de RSSI e tem, convenientemente, seus valores entre zero e um. Diferente do desvio padrão convencional, esta é uma análise que, adicionalmente à avaliação da dispersão do sinal, permite também a avaliação dos instantes onde a dispersão da intensidade de sinal tende a aumentar ou diminuir em separado. Os resultados demonstram que os índices propostos podem ser utilizados, pela gerência, de forma eficiente para ajustes dos recursos das RSSF operando em ambiente industrial, tais como mudança de base, alteração de rota, ajuste de potência, alteração de canal, etc.

Palavras-Chave – Gerência de RSSF, Redes Industriais, Instabilidade de RSSI, Diagrama de Caixa.

Abstract - This paper presents a real time index proposal to evaluate the behavior of the received signal strength indication (RSSI) of a wireless sensor network (WSN) running in an industrial environment, to aid the management system decision taking with regard to the network reconfiguration. These indices are obtained based on the Sliding Window Boxplot Diagram of the last few RSSI samples and conveniently have their values between zero and one. Unlike the conventional standard deviation, this is an analysis that, in addition to the signal dispersion evaluation, also allows for the evaluation of the moments when the signal intensity dispersion tends to increase or decrease separately. The results show that the proposed indices can be used by management to adjust the WSN resources operating in an industrial environment, such as base change, change of route, power adjustment, change of channel, etc.

Keywords – RSSF Management, Industrial Networks, RSSI instability, Boxplot.

I. INTRODUÇÃO

Em comunicação sem fio, a variação da intensidade de sinal recebida (RSSI) é sempre um fator relevante para a gerência da rede. Mas, por ser diretamente influenciada por diversas condições do ambiente na qual está inserida, esta grandeza possui um comportamento imprevisível, podendo afetar diretamente a qualidade da comunicação.

Para as redes sem fio, de um modo geral, a preocupação tem sido na busca de modelos de propagação para predição de cobertura e avaliação do comportamento do sinal, separando, por exemplo, em fading lento e fading rápido [1]. São várias as propostas de modelos para estes ambientes [2]. Entretanto, esta estratégia tem como característica a coleta da RSSI e seu processamento para encontrar distribuições estatísticas, que

serão úteis tanto para a predição de cobertura quanto para o projeto de novos sistemas. Outro ponto é que os sistemas sem fio tradicionais possuem parâmetros bem definidos quanto às características de camada física e estratégia de acesso. Um exemplo seria o sistema celular, que é conceitualmente uma rede ponto-multi-ponto (PMP), onde a estação rádio base controla todos os processos de comunicação [3].

Para as Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) o paradigma de formação da rede tem suas peculiaridades e existe a possibilidade de utilização de diferentes tipos de estratégias, como mudanças de rotas, mudança de bases, mudança de canal, mudança de taxa, etc [4][5], que deve acontecer, via de regra, em função da RSSI e sua variação. Para realização destas estratégias é necessária uma análise em tempo real da qualidade do enlace para determinar a viabilidade de um enlace rádio e a possível tomada de decisão para reconfiguração da rede. Neste aspecto as RSSF apresentam peculiaridades diferentes das redes sem fio tradicionais.

Assim, é conveniente a investigação de estratégias que permitam, em tempo real, avaliar a condição de um enlace rádio para tomada de decisão, pelo sistema de gerência, para garantir a confiabilidade e disponibilidade dos serviços. Esta análise em tempo real pode ser chamada de *running statistics* [6], pois levam em consideração a análise estatística de curto prazo, neste caso para tomada de decisão de reconfiguração. Esta necessidade é encontrada, por exemplo, no ambiente industrial, onde existem processos que devem ser monitorados e controlados.

Este artigo descreve testes em um ambiente industrial real identificando nos cenários de teste o tipo de ambiente. Com os resultados obtidos propõe a criação de índices que vão permitir a reconfiguração da RSSF em função da análise da RSSI.

Este artigo está organizado da seguinte forma. Na Seção II é tratado o estágio de utilização de RSSF na indústria. Na Seção III é apresentado um caso real de teste de em uma indústria, que subsidiam a elaboração da proposta. Na Seção IV é apresentada a proposta da utilização do *boxplot* como uma técnica que permite a criação de índices para avaliar a instabilidade de sinal. Na Seção V é apresentada a aplicação da proposta nos resultados obtidos nos testes apresentados na Seção III. A Seção VI apresenta as conclusões do trabalho.

II. RSSF PARA APLICAÇÃO INDUSTRIAL

Com a chegada da Quarta Revolução Industrial (Industry 4.0), fábricas inteligentes conectarão as linhas de produção com os materiais e os produtos por elas manufaturados [7].

*Vitor Q. Pereira, *Omar C. Branquinho, *Cilene R. Real, *Pedro Chaves. branquinho@puc-campinas.edu.br. PUC-Campinas. **Fernando Lino, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP), campus Hortolândia.

Com essas novas tecnologias, cada produto trará sua informação digital embarcada já no início do processo e a compartilhará via RFID [Radio Frequency Identification] chips com os equipamentos da linha a medida que este avança na linha de produção. A conexão dos pontos de coleta de informação e os pontos de controle dos processos vão utilizar RSSF.

A utilização de RSSF no ambiente industrial será uma realidade através dos padrões propostos para este tipo de aplicação [8][9]. Os benefícios das RSSF no ambiente industrial são discutidos em detalhe em [10], demonstrando que a evolução dos controles nos processos industriais se dará por este tipo de rede. Principalmente são considerados os seguintes pontos:

- Aumento da confiabilidade: em algumas condições os sistemas cabeados são expostos a condições extremas. Com RSSF é possível criar redundância como mostrado em [5];
- Melhora no controle: com uma RSSF podem ser inseridos mais dispositivos de monitoração para melhorar o controle;
- Diminuição de custo: até 90% do custo das instalações das tecnologias de medida está em cabos, canaletas e construções. Com uma RSSF é economicamente viável a inclusão de novas aplicações.

A questão da utilização de RSSF no ambiente industrial tem como ponto crítico a qualidade da conexão rádio estabelecida entre os nós sensores, nós atuadores e bases. Será imprescindível a monitoração e gerência das RSSF.

A qualidade de um enlace rádio, em especial em um ambiente industrial, exige a monitoração em tempo real com alguma estratégia que indique a necessidade de alteração dos recursos da rede. Mais especificamente os padrões industriais relacionam a qualidade do enlace rádio com a criticidade dos processos envolvidos. Portanto, a qualidade do enlace rádio determina o impacto no processo que está sendo monitorado/controlado. Como exemplo, em [10] é apresentada uma tabela que relaciona as classes das aplicações envolvidas nos processos industriais. A Tabela 1 apresenta esta classificação que utiliza uma escala de 0 a 5, onde 0 é mais crítico e 5 menos crítico.

Tabela 1 – Classes de Aplicações

Categoria	Classe	Aplicação	Característica
Segurança	0	Ação de emergência	Sempre crítica
Controle	1	Controle regulador de malha fechada	Frequentemente crítica
	2	Controle de supervisão de malha fechada	Usualmente não crítica
	3	Controle de malha aberta	Participação Humana na malha
Monitoramento	4	Alerta	Consequências de curto prazo
	5	Armazenamento de dados – downloading/uploading	Sem consequências imediatas

Esta tabela permite identificar que a utilização das RSSF em ambiente industrial necessita de uma análise da viabilidade, com a identificação de estratégias que permitam atender as especificações.

As RSSF em ambientes industriais terão sua configuração alterada para atender o quão crítico é o processo em que o enlace rádio está sendo utilizado. Portanto, a gerência de uma RSSF necessita de uma estrutura que utilize as informações de qualidade do enlace rádio para tomada de decisão. A ISO (International Standard Organization) estabelece que a gerência é dividida em 5 áreas: configuração, desempenho, falha, segurança e bilhetagem [11].

Este artigo apresenta uma estratégia para avaliar a qualidade dos enlaces rádio pela gerência de desempenho, através da análise em tempo real da RSSI e a tomada de decisão para a alteração de parâmetros da RSSF pela gerência de configuração.

III. RSSF EM UMA INDÚSTRIA

Neste trabalho foram utilizados dados coletados em uma indústria, que subsidiaram a proposta apresentada em 5. A Fig. 1 (retirado de [12]) mostra a instabilidade do sinal de um enlace na banda de 915MHz em uma indústria.

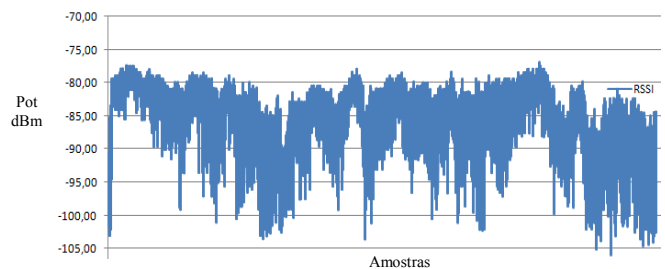


Figura 1 - Sinal recebido em um ambiente industrial

Como pode ser observado não existe um padrão de ocorrência. Assim, a estatística geral de todo o sinal não seria útil para estabelecer estratégias de alteração de parâmetros da RSSF.

Os testes foram realizados em diferentes cenários com obtenção da RSSI em um período de 48 horas a cada 1 segundo. Neste trabalho serão considerados 2 cenários. O ambiente possui obstáculos com grande movimentação de pessoas, empilhadeiras e máquinas, adequado para análises na variação das RSSIs. Para realização dos testes foi utilizada a plataforma Radiuino [13], criando um enlace rádio entre uma base conectada a um computador e um nó sensor. A base foi colocada no centro da fábrica, mostrada na Fig. 2 (retirado de [12]).

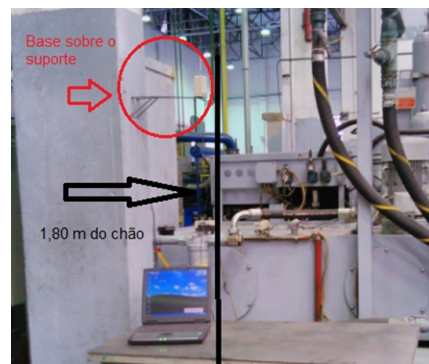


Figura 2 - Base

O nó sensor foi colocado em diversas posições e a Fig. 3 mostra uma destas posições (retirado de [12]).

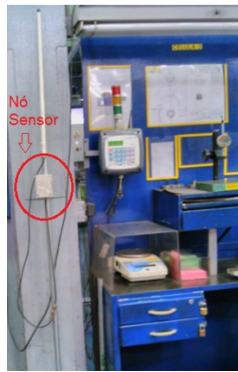


Figura 3 - Nós sensor

Observar que o sensor foi colocado próximo a uma coluna e também próximo a equipamentos industriais, configurando um cenário real de utilização.

No primeiro cenário a distância entre a base, também chamada *sink node*, e o nó sensor é de 15 metros. A Fig. 4, representa este cenário, (retirado de [12]).

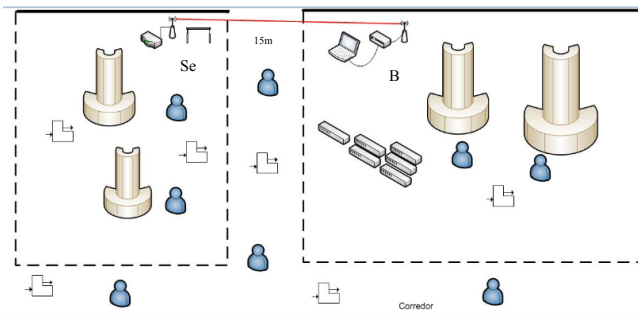


Figura 4 - Primeiro cenário

No segundo cenário a distância entre base e nó sensor é de 30 metros e está representado na Fig. 5 (retirado de [12]).

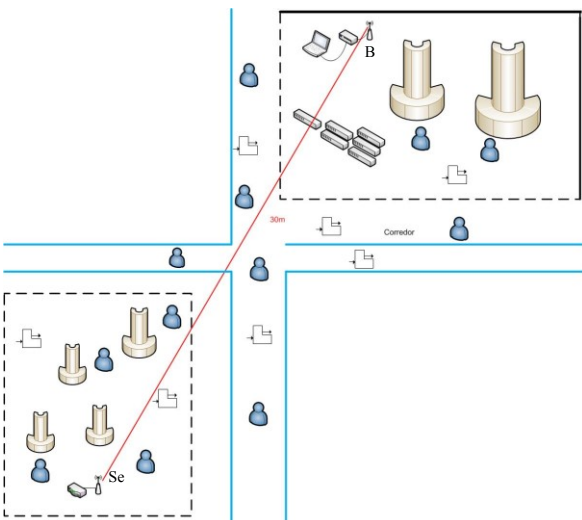


Figura 5 - Segundo cenário

A legenda dos símbolos representados nessas figuras pode ser visto na Fig. 6 (retirado de [12]).

Legenda	
Simbolo	Descrição
	Base
	Nó Sensor
	Colaborador
	Empilhadeira
	Paletes
	Prensa

Fig. 6. Legenda dos símbolos nos cenários.

IV. PROPOSTA DE ÍNDICES

A metodologia abordada por este artigo foi baseada no Diagrama de Caixa, também conhecido como *Boxplot* ou Diagramas de Extremos e Quartis. Em estatística descritiva, este é um gráfico que permite visualizar de que forma estão distribuídos os valores de um determinado grupo de amostras. Esta abordagem sugere uma comparação direta entre a posição das amostras dentro do grupo de análise com seu respectivo valor. O grupo de amostras pode ser dividido em quatro partes, tendo como limiares os três quartis possíveis, primeiro, segundo e terceiro. Trata-se de um ordenamento crescente das amostras e identificação de quais posições dividem o grupo em quatro partes com mesmo número de amostras. Os valores dessas posições são os quartis.

As informações que são relevantes para esta análise são os valores máximo e mínimo, o primeiro e o terceiro quartil e a mediana (segundo quartil). A dispersão é dada pela diferença entre o primeiro e o terceiro quartil. Os valores dos quartis são plotados formando uma caixa cortada pela mediana. Os valores extremos são indicados nos chamados “fios de bigode”, delimitando os valores discrepantes. A Fig. 7 é uma representação hipotética de como este diagrama pode ser utilizado.

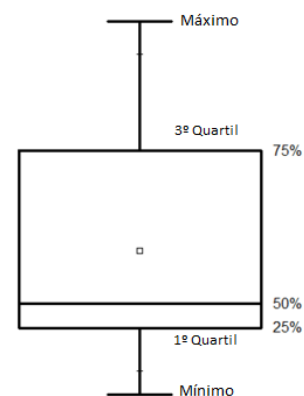


Fig. 7. Diagrama de Caixa (*Boxplot*).

Nota-se que um quarto das amostras se localiza no bigode inferior, um quarto no bigode superior e metade dentro da caixa.

Pode-se criar índices com os valores descritos no Diagrama de Caixa que permitam estimar a dispersão em diferentes áreas do grupo de amostras. A ideia de se trabalhar com índices com

valores extremos definidos é atrativa por limitar o escopo de possibilidades, facilitando assim o auxílio na gerência de desempenho.

Com o propósito de avaliar a tendência de aumento ou de queda da RSSI, partindo da dispersão do sinal em uma janela deslizante, são propostos três índices que servem como indicativo nesta mensuração, chamados Z_a (Índice de Alta), Z_q (Índice de Queda) e Z_p (produto entre os dois índices anteriores). Os cálculos que nos levam a estes índices são de baixa complexidade e podem facilmente entrar no contexto da chamada *running statistics*, que são aquelas utilizadas no decorrer do funcionamento do sistema, obtidas pela gerência de desempenho e realimentando a gerência de configuração, para ações de reconfiguração.

O primeiro índice a ser descrito neste trabalho é o chamado Z_a , ou Índice de Alta. Trata-se da razão entre o valor do terceiro quartil e o máximo, sendo expresso pela Equação 1.

$$Z_a = \frac{Q_3}{V_{\max}} \quad (1)$$

Q_3 é o terceiro quartil e V_{\max} é o maior valor dentro do grupo de amostras. V_{\max} sempre será maior ou igual a Q_3 , fazendo com que este índice tenda a 1, o quanto mais próximos forem os valores. Analogamente, este índice tende a 0, o quanto maior for a diferença entre os valores.

O segundo índice é o chamado Z_q , ou Índice de Queda. Trata-se da razão entre o valor mínimo e o primeiro quartil, sendo expresso pela Equação 2.

$$Z_q = \frac{V_{\min}}{Q_1} \quad (2)$$

V_{\min} é o menor valor e Q_1 é o primeiro quartil. O mesmo raciocínio para comportamento dos valores de Z_a é aplicado ao Z_q , também tendo seus valores maiores que zero e menores ou iguais a 1.

O terceiro índice proposto é o chamado Z_p , ou Índice Produto. Nada mais é que o produto entre Z_a e Z_q , sendo expresso pela Equação 3.

$$Z_p = Z_a \times Z_q \quad (3)$$

O produto dos dois primeiros índices nos mostra o comportamento da variação total do grupo de amostra. Invariavelmente também possuirá valores entre 0 e 1, já que é composto pelo produto de duas grandezas dessa natureza. Esse produto pode ser comparado ao Desvio Padrão, e deverá ter um comportamento semelhante ao inverso deste, já que quanto menor o valor, maior é a dispersão.

V. APLICAÇÃO DA PROPOSTA

Para a análise foram coletadas as intensidades de sinal recebidas pela base ao longo do tempo. Foram analisadas 200 amostras por cenário; dessas amostras foram extraídos os

índices propostos e comparados com o comportamento do sinal. A janela deslizante utilizada para calcular os índices foi de 10 amostras. Na análise do Índice Produto, foi feita sua comparação com o Desvio Padrão.

O método utilizado para validar os índices foi a comparação gráfica entre seus valores e a RSSI. A Fig. 8 representa Z_a (linha dupla), Z_q (linha fina) e a RSSI (linha grossa), sendo os valores dos índices no eixo principal e RSSI no secundário.

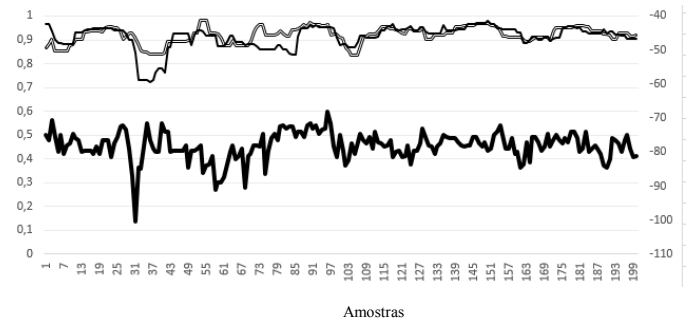


Figura 8 – Primeiro cenário: RSSI, Z_a e Z_q

Iniciando a análise pelo Z_q , nota-se que em pontos onde ocorre a queda repentina da RSSI, também ocorre a queda do índice. Esta característica pode ser observada nas proximidades da 31ª amostra, que é o momento na qual a queda ocorre com mais intensidade. Devido ao tamanho da janela deslizante, o efeito deste pico de queda se propaga para as próximas 10 amostras. Nos momentos na qual o sinal fica estável, ambos os índices tendem a 1, como ocorre na amostras próximas a 91 e 145.

O aumento da RSSI pode ser percebida com a queda de Z_a . Outra característica notada é que existem momentos onde o sinal não está estável e Z_a tende a 1, como na amostra 55. Isso ocorre porque, apesar da aparente instabilidade do sinal, esta característica ocorre majoritariamente nos grupos de menor valor da janela.

Os dois índices não possuem nenhuma correlação aparente. Porém, se correlacionam com a dispersão do sinal: uma quando esta dispersão é para cima, e outra quando é para baixo. O produto dos dois é uma forma de aferir a dispersão total do sinal. É pertinente que se compare esta dispersão com o tradicional Desvio Padrão para verificar a eficácia do método proposto. A Fig. 9 representa a variação do Desvio padrão (linha simples com eixo secundário) e de Z_p (linha dupla com o eixo principal).

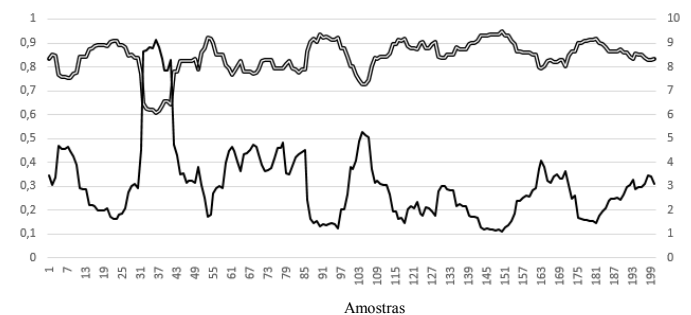


Figura 9 – Primeiro cenário: Desvio padrão e Z_p

Como dito anteriormente, os comportamentos destes dois parâmetros tendem a ser opostos. Quando a dispersão aumenta,

o desvio padrão também aumenta, mas o índice Z_p diminui. Observando esta última figura, pode-se perceber que de fato ocorre essa tendência.

A intensidade de sinal recebida no segundo cenário foi mais instável e foi comparada da mesma forma que o primeiro. A Fig. 10 representa Z_a (linha dupla), Z_q (linha fina) e a RSSI (linha grossa), sendo os valores dos índices no eixo principal e RSSI no secundário.

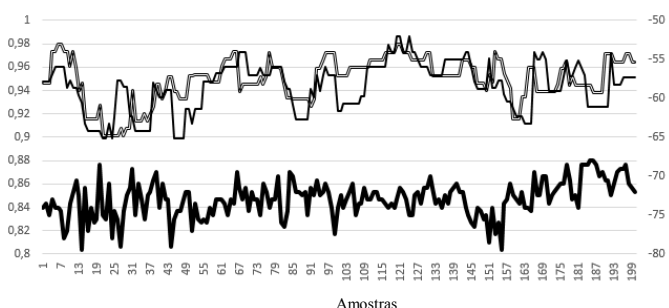


Figura 10 – Segundo Cenário: RSSI, Z_a e Z_q

Da mesma forma que no primeiro cenário, pode-se identificar os picos de alta e queda quando estão fora do comportamento normal das últimas 10 amostras. Em momentos de muita instabilidade, como entre as amostras 13 e 49, ambos os índices possuem valores baixos. Em momentos com mais estabilidade estes índices possuem valores mais elevados, como entre as amostras 115 e 127.

Como no cenário anterior, para se validar o Índice Produto foi utilizado o Desvio Padrão, sendo estas grandezas representadas na Fig. 11.

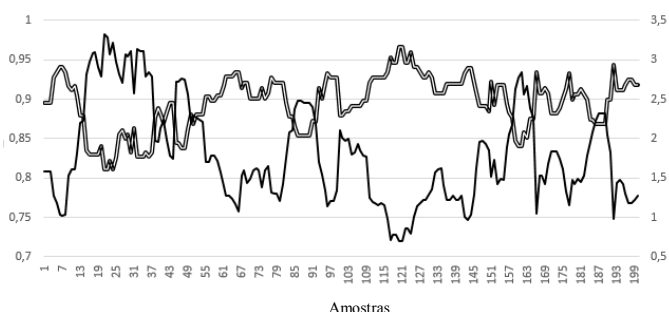


Figura 11 - Desvio padrão e Z_p

A variação destas grandezas corresponde ao esperado e mencionado anteriormente. Nota-se um comportamento invertido: onde um aumenta, o outro diminui.

VI. CONCLUSÕES

O objetivo do trabalho era encontrar índices que indicassem a tendência da RSSI ao longo do tempo e servissem de subsídio ao sistema de gerência. Estes índices devem ser de baixa complexidade para obtenção em tempo real para reconfiguração da RSSF.

Os resultados obtidos demonstram que os índices propostos por este trabalho podem ser utilizados como auxílio na caracterização de sinal dando subsídio para a gerência de desempenho RSSF. Nota-se a facilidade na utilização destes índices, com a definição de limiares para tomada de decisão pela gerência de configuração.

Os Índices de Alta e de Queda permitem uma avaliação separada da dispersão tanto para a melhora quanto para a piora do sinal. O Índice Produto pode ser uma alternativa como auxílio no uso do Desvio Padrão, que possuem a mesma assinatura, e com a vantagem de poder ser calculado mais facilmente e ter seus valores definidos entre 0 e 1. A validação deste índice também valida os outros dois pois trata-se de um valor obtido a partir deles, na qual seus cálculos não se relacionam, não tendo nenhum valor em comum. O produto entre os Índices de Alta e Queda carrega a mesma característica deles, que é de mensurar a dispersão de um grupo de amostras mas considerando os dois lados da dispersão. Esta característica pôde ser validada com um índice já reconhecido na estatística, o desvio padrão. Análises mais aprofundadas podem ajudar a ter um melhor conhecimento sobre o comportamento desse índice, contribuindo para a definição de quando sua utilização seja a mais apropriada.

A continuação do trabalho se dará na identificação dos limiares de atuação e nas estratégias de reconfiguração da RSSF, em função do tipo de classe de aplicação, como estabelecido na Tabela 1, em especial nas aplicações que envolve controle de processos industriais.

REFERÊNCIAS

- [1] YACOUB, Michel D. *Foundations of Mobile Radio Engineering*. CRC. 1993
- [2] RAPPAPORT, Theodore. *Wireless Communications: Principles and Practice* (2nd Edition). Prentice Hall. 2002.
- [3] M YACOUB, Michel D. *Wireless Technology: Protocols, Standards, and Techniques*. CRC. 2002
- [4] Friedmann L. Boukhatem L. *Efficient Multi-sink Relocation in Wireless Sensor Networks*. Disponível em: <https://www.lri.fr/~lila/papers/icns07.pdf>. Acesso em 30 de abril de 2015.
- [5] Pietro Ciciriello. Luca Mottola. Gian Pietro Picco. *Efficient Routing from Multiple Sources to Multiple Sinks in Wireless Sensor Networks*. Disponível em: <http://home.deib.polimi.it/mottola/papers/ciciriello07multi.pdf>. Acesso em 29 de abril de 2015.
- [6] SMITH, Steven W. *The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing*. Califormea Technical Publishing. 1997.
- [7] The Engineer. Industry 4.0: the next industrial revolution. Disponível em: <http://www.theengineer.co.uk/manufacturing/automation/industry-40-the-next-industrial-revolution/1016696.article>. Acesso em 03 maio 2015.
- [8] EC 62591 WirelessHART. *System Engineering Guidelines*. Disponível em: http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Central%20Web%20Documents/EMR_WirelessHART_SysEngGuide.pdf. Acesso em 29 de abril de 2015.
- [9] <https://www.isa.org/isa100/>
- [10] I ISA Setting the Standard for Automation. *Control Over Wireless Current Applications and Future Opportunities*. Disponível em: http://www.nivis.com/resources/WCI_Auto_Week_2012_%20Paper_v18Sep.pdf. Acesso em 30 de abril de 2015.
- [11] STALLINGS, William. *SNMP, SNMPv2, SNMPv3, and RMON 1 and 2* (3rd Edition). 1999
- [12] REAL, Cilene R. *Avaliação da Instabilidade de Intensidade de Sinal em Ambiente Industrial*. Dissertação de mestrado do Mestrado Profissional em Gestão de Redes de Telecomunicações. A ser defendida em junho de 2015.
- [13] www.radiuino.cc
- [14] Universidade Federal Fluminense (UFF). *Conhecendo o Boxplot. Matemática: análise de dados e probabilidade*. Disponível em: http://www.uff.br/cdme/conheceboxplot/conheceboxplot-html/conheceboxplot_intro.html. Acesso em 29 de abril de 2015.