

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS

**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS AMBIENTAIS E DE
TECNOLOGIAS**

CILENE RENATA REAL

**MEDIDA E ANÁLISE DE COMPORTAMENTO DA
RSSI DE UMA REDE DE SENSOR SEM FIO EM
AMBIENTE INDUSTRIAL**

CAMPINAS

2015

CILENE RENATA REAL

**MEDIDA E ANÁLISE DE COMPORTAMENTO DA
RSSI DE UMA REDE DE SENSOR SEM FIO EM
AMBIENTE INDUSTRIAL**

Dissertação apresentada como exigência para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Elétrica, ao Programa de Pós-Graduação em Gestão de Redes de Telecomunicações, Pontifícia Universidade Católica de Campinas.

Orientador: Prof. Dr. Omar Carvalho Branquinho

PUC-CAMPINAS

2015

Ficha Catalográfica
Elaborada pelo Sistema de Bibliotecas e
Informação - SBI - PUC-Campinas

t621.3851 Real, Cilene Renata.
R288m Medida e análise de comportamento da RSSI de uma rede de sensor sem fio em ambiente industrial / Cilene Renata Real. - Campinas: PUC-Campinas, 2015.
100 p.

Orientador: Omar Carvalho Branquinho.
Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.
Inclui anexo e bibliografia.

1. Redes de sensores sem fio. 2. Sistemas de transmissão de dados. 3. Indústria - Medidas de segurança. 4. Radiofrequência. 5. Indústria - Aspectos ambientais. I. Branquinho, Omar Carvalho. II. Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias. Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. III. Título.

22.ed. CDD – t621.3851

CILENE RENATA REAL

**Medida e Análise de Comportamento da RSSI de uma
Rede de Sensor sem Fio em Ambiente Industrial**

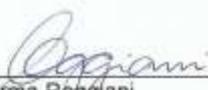
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias da Pontifícia Universidade Católica de Campinas como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Gestão de Redes de Telecomunicações.

Área de Concentração: Qualidade de Serviço de Teleinformática. Orientador: Prof. Dr. Omar Carvalho Branquinho

Dissertação defendida e aprovada em 25 de junho de 2015 pela Comissão Examinadora constituída dos seguintes professores:



Prof. Dr. Omar Carvalho Branquinho
Orientador da Dissertação e Presidente da Comissão Examinadora
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



Profa. Dra. Norma Reggiani
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



Prof. Dr. Paulo Cardieri
Universidade Estadual de Campinas

Dedico esse trabalho à minha mãe, pelo incentivo
e exemplo de vida, e ao meu pai (em memória),
pela força espiritual.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que tudo pode, permite e transforma.

Ao Prof. Dr. Orientador Omar Carvalho Branquinho, que, por meio de sua genialidade e simplicidade, conduziu e lapidou o meu aprendizado, respeitando a minha opinião.

À Profa. Ms. Débora M. Ferreira, que contribuiu com a análise estatística dos dados e, com sua sabedoria, ajudou-me em vários momentos, sendo uma grande amiga e exemplo, a qual levarei para a vida toda.

Ao Prof. Ms. Lino, pelo apoio.

À empresa MAHLE Metal Leve Miba Sinterizados, na pessoa do Sr. Diretor Paulo Sérgio Pompeo Motta, pelo apoio e liberação do ambiente fabril para a coleta dos dados.

As amigas de trabalho, Patrícia Alves dos Santos, que contribuiu com essa dissertação, realizando a planta da fábrica, contida na mesma. E a Mariângela Assol que realizou algumas traduções.

Aos colegas de turma Claudinei Martins e Lucas Leão, porque, com sua amizade, sinceridade e carinho, ensinaram-me muito. Pessoas iluminadas que Deus inseriu na minha vida nesse curso e que sempre farão parte da mesma.

À Pontifícia Universidade Católica de Campinas por conceder 50% de bolsa para a execução do Mestrado.

“A verdadeira coragem é ir atrás de seus sonhos, mesmo quando todos dizem que ele é impossível.”

Cora Coralina

RESUMO

REAL, Cilene Renata. Medida e Análise de Comportamento da RSSI de uma Rede de Sensor sem Fio em Ambiente Industrial. 2015. Dissertação (Mestrado em Gerência de Redes de Telecomunicações) – Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Centro de Ciências Exatas Ambientais e de Tecnologias, Programa de Pós-Graduação em Gestão de Redes de Telecomunicações, Campinas, 2015.

Trabalho científico que demonstra o comportamento da intensidade do sinal em uma Rede de Sensores sem Fio (RSSF) no ambiente industrial. A presente dissertação tem como objetivo, realizar coletas de *Radio Signal Strength Indicator* (RSSI), sugerir um método para analisar o comportamento do sinal e subsidiar critérios para a tomada de decisão, quando o sinal apresentar uma instabilidade significativa. O benefício esperado é a caracterização desse ambiente, permitindo o conhecimento sobre o comportamento desse tipo de rede, que, hoje, apesar de necessário, ainda é limitado, contribuindo, assim, para o desenvolvimento de aplicações confiáveis que utilizem esse tipo de rede. Os resultados das medidas de intensidade de sinal foram analisados quanto à sua estabilidade.

Termos de indexação: Redes de Sensores sem Fio. Ambiente Industrial. Sinal. Instabilidade.

ABSTRACT

REAL, Cilene Renata. Measurement and RSSI Behavior Analysis of a Wireless Sensor Network in Industrial Environment. 2015. Dissertation (Masters in Telecommunications Network Management) – Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Center for Environmental Exact Sciences and Technology, Graduate Program in Telecommunications Network Management, Campinas, 2015.

Scientific work that shows the signal strength behavior in a Wireless Sensor Network (WSN) in the industrial environment. This dissertation aims to perform collections of Radio Signal Strength Indicator (RSSI), to suggest a method to analyze the signal behavior and to subsidize criteria for decision making, when the signal presents significant instability. The expected benefit is the characterization of this environment, allowing knowledge about the behavior of this type of network, which today, although necessary, is still limited, thus contributing to the development of reliable applications that use this type of network. The results of the signal strength measurements have been analyzed for their stability.

Index terms: Wireless Sensor Networks, Industrial Environment, Sign, Instability

LISTA DE GRÁFICOS

Figura 1. Disposição dos Nó Sensores na Fábrica.....	23
Figura 2. Exemplo da Aplicação do Modelo	24
Figura 3. MAHLE Miba	26
Figura 4. Prensa Industrial	27
Figura 5. Forno Industrial	27
Figura 6. Paletes na Empilhadeira.....	28
Figura 7. Base e <i>Notebook</i> a partir do chão	29
Figura 8. Base no Suporte.....	29
Figura 9. Nó Sensor no Tripé	30
Figura 10. Representação Gráfica do Cenário 1	32
Figura 11. Cenário 1 no Ambiente Fabril	32
Figura 12. Representação Gráfica do Cenário 2	33
Figura 13. Cenário 2 no Ambiente Fabril	34
Figura 14. Representação Gráfica do Cenário 3	35
Figura 15. Cenário 3 no Ambiente Fabril	36
Figura 16. Representação Gráfica do Cenário 4	36
Figura 17. Cenário 4 no Ambiente Fabril	37
Figura 18. Representação Gráfica do Cenário 5	38
Figura 19. Cenário 5 no Ambiente Fabril	38
Figura 20. Representação Gráfica do Cenário 6	39
Figura 21. Cenário 6 no Ambiente Fabril	39
Figura 22. Representação Gráfica do Cenário 7.	40
Figura 23. Cenário 7 no Ambiente Fabril	40
Figura 24. Aplicação em Phytton.....	41
Figura 25. Base.....	42
Figura 26. Nó Sensor.	42
Figura 27. Bateria.....	43
Figura 28. RSSI Cenário 1.	44
Figura 29. RSSI Cenário 2	45
Figura 30. RSSI Cenário 3	45
Figura 31. RSSI Cenário 4.	46
Figura 32. RSSI Cenário 5.	47
Figura 33. RSSI Cenário 6.	47
Figura 34. RSSI Cenário 7	48
Figura 35. Seleção de Intervalos do Cenário 2.....	53
Figura 36. Média Móvel em 60s do Cenário 2 (T1).....	54
Figura 37. Delta do Cenário 2 (T1).....	54
Figura 38. Desvio Padrão do Cenário 2 (T1)	55
Figura 39. Classificação da RSSI do Cenário 2 (T1)	55
Figura 40. Seleção de Intervalos do Cenário 3.....	56
Figura 41. Média Móvel em 60s do Cenário 3 (T3).....	56
Figura 42. Delta do Cenário 3 (T3).....	57
Figura 43. Desvio Padrão do Cenário 3 (T3)	57
Figura 44. Classificação da RSSI do Cenário 3 (T3)	58
Figura 45. Seleção de Intervalos do Cenário 4.....	58
Figura 46. Média Móvel em 60s do Cenário 4 (T3)	59
Figura 47. Delta do Cenário 4 (T3).....	59
Figura 48. Desvio Padrão do Cenário 4 (T3)	60
Figura 49. Classificação da RSSI do Cenário 4 (T3)	60
Figura 50. Seleção de Intervalos do Cenário 5.....	61
Figura 51. Média Móvel em 60s do Cenário 5 (T1).....	61
Figura 52. Delta do Cenário 5 (T1).....	62

Figura 53. Desvio Padrão do Cenário 5 (T1)	62
Figura 54. Classificação da RSSI do Cenário 5 (T1)	63
Figura 55. Seleção de Intervalos do Cenário 7.....	63
Figura 56. Média Móvel em 60s do Cenário 7 (T3).....	64
Figura 57. Delta do Cenário 7 (T3).....	64
Figura 58. Desvio Padrão do Cenário 7 (T3)	65
Figura 59. Classificação da RSSI do Cenário 7 (T3)	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Comparação Estatística	20
Tabela 2. Distâncias e Médias	20
Tabela 3. Comparativo de Médias	21
Tabela 4. Elementos da Representação Gráfica dos Cenários	31
Tabela 5. Caracterização dos Cenários	50
Tabela 6. Análise Estatística por Cenários	51
Tabela 7. Classificação da RSSI.....	51
Tabela 8. Identificação dos Cenários por Faixa	52
Tabela 9. Resumo dos Cenários por Faixa	52
Tabela 10. PER	52
Tabela 11. Análise das Médias Móveis representadas no Capítulo 6	67
Tabela 12. Peculiaridades dos Cenários.....	67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ISM	=	<i>Instrumentation, Scientific and Medical</i>
MMLMS	=	MAHLE Metal Leve Miba Sinterizados
MULTI-SINK	=	Múltiplas Bases
PER	=	Perda de Pacotes
RSSF	=	Redes de sensores sem fio
RSSI	=	<i>Radio Signal Strength Indicator</i>
RUNNING STATISTICS	=	Estatística em Tempo Real

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Definição do Problema	16
1.2 Contribuições Esperadas	17
1.3 Organização da Dissertação	17
2 APLICAÇÃO DE REDES DE SENSORES SEM FIO EM AMBIENTE INDUSTRIAL.....	19
2.1 RSSF no Ambiente Industrial	19
2.2 Trabalhos Relacionados.....	19
3 ANÁLISE DE SINAL DE RSSF EM AMBIENTE INDUSTRIAL	22
3.1 Ambiente Industrial	22
3.2 Proposta para Análise do Sinal	23
4 MATERIAIS E MÉTODOS	26
4.1 Ambiente.....	26
4.1.1 Cenários.....	30
4.1.1.1 Cenário 1	31
4.1.1.2 Cenário 2	32
4.1.1.3 Cenário 3	34
4.1.1.4 Cenário 4	36
4.1.1.5 Cenário 5	37
4.1.1.6 Cenário 6	39
4.1.1.7 Cenário 7	40
4.2 <i>Setup</i> de Teste.....	41
4.3 Plataforma Radiuino.....	42
5 RESULTADOS OBTIDOS	44
5.1 Cenário 1	44
5.2 Cenário 2	44
5.3 Cenário 3	45
5.4 Cenário 4	46
5.5 Cenário 5	46
5.6 Cenário 6	47
5.7 Cenário 7	48

5.8 Considerações	48
6 ANÁLISE DOS RESULTADOS	50
6.1 Análises Iniciais	50
6.1.1 Caracterização do Ambiente	50
6.1.2 Análise Estatística	50
6.2 Análise de intervalos	53
6.2.1 Análise do Cenário 2	53
6.2.1.1 Análise do Primeiro Trecho do Cenário 2 (T1).....	54
6.2.2 Análise do Cenário 3	56
6.2.2.1 Análise do Terceiro Trecho do Cenário 3 (T3).....	56
6.2.3 Análise do Cenário 4	58
6.2.3.1 Análise do Terceiro Trecho do Cenário 4 (T3).....	59
6.2.4 Análise do Cenário 5	61
6.2.4.1 Análise do Primeiro Trecho do Cenário 5 (T1).....	61
6.2.5 Análise do Cenário 7	63
6.2.5.1 Análise do Terceiro Trecho do Cenário 7 (T3).....	64
6.3 Considerações	66
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
7.1 Conclusão	69
7.2 Trabalhos Futuros	69
8 REFERÊNCIAS	70
9 ANEXO	73
9.1 ANEXO A – Autorização da MMLMS para a execução do experimento	73
9.2 ANEXO B – Planta Baixa da Fábrica.....	74
10 APÊNDICE	75
10.1 Apêndice I – Arquivo PDF do Rádio BE 900	75
10.2 Apêndice II – Complemento da Análise dos Cenários	80

1 INTRODUÇÃO

As redes de Sensores sem Fio (LOUREIRO,2003) consistem em um número de dispositivos sem fio, denominados Nó Sensores ou Nó Atuadores, que são distribuídos em uma área de interesse para a execução de uma determinada função. As RSSF vêm se destacando como uma tecnologia aplicável a diversas áreas, tais como, agrícola (SEIDEL, 2007; SANTOS, 2010), indústria (FREITAS, 2007; GOMES, 2014), militar, médica (AKYLDIZ, 2001) e ensino (TASLIDERE, 2011; CUI, 2012). Ela possibilita o Monitoramento (WANG, 2010), o Rastreamento (RODRIGUES, 2014), a Detecção, o Mapeamento e a Automação (MAGALHÃES, 2013). É uma tecnologia possuidora de um grande potencial, porém sua aplicação ainda é reduzida.

O crescimento das RSSF é estimulado pela Internet das Coisas (ITU, 2005), porque permite ao mundo físico conectar-se ao digital, por meio da comunicação de dispositivos (e ou objetos) com Data Centers na Nuvem.

No ambiente industrial, os sinais de rádio sofrem perturbação de diversas ordens, devido à estrutura metálica da própria instalação, além da existência de componentes fabris, paredes e pilares que também podem gerar o bloqueio do sinal. Mas a utilização de RSSF nesse ambiente vem se desenvolvendo (RAY, 2013) em função do aprimoramento dos sensores e da necessidade de otimização do processo produtivo.

Esta dissertação tem como proposta apresentar, por meio de medições reais em um ambiente industrial, o comportamento da intensidade de sinal de uma RSSF e, diante desse comportamento, sugerir técnicas de análise que permitam a identificação da instabilidade do sinal e, a partir dessa, indicar a necessidade de tomada de decisão do sistema de gerência.

1.1 Definição do Problema

Com o crescimento do ambiente industrial e com a automação cada vez mais presente nesse setor, a RSSF é uma tecnologia que pode ser um diferencial na indústria. Porém, existe uma carência de estudos experimentais sobre o comportamento da RSSI para esse tipo de ambiente (LUQUETA, 2012).

A fim de avaliar o ambiente, foram selecionados alguns pontos da fábrica, chamados de Cenários neste trabalho, onde se efetuou a coleta de RSSI. Esses

cenários foram escolhidos considerando a distância do sensor em relação à base, o tráfego de pessoas e empilhadeiras, e a quantidade de prensas, painéis elétricos e fornos. Com o objetivo de cobertura de toda a fábrica, vários locais foram avaliados até a determinação desses cenários,

Definiu-se um ponto central na fábrica, onde a Base foi colocada, para a realização de todos os experimentos.

1.2 Contribuições Esperadas

Como resultado da dissertação, tem-se a caracterização da variabilidade da RSSI no ambiente industrial a partir da identificação do comportamento do sinal nesse ambiente, da aplicação de estratégias de análise da variabilidade do sinal e da sugestão de métricas para a identificação de agressores ao funcionamento das redes de sensores sem fio, dando subsídio para a criação de estratégias de gerência.

A Gerência de Redes possui cinco pilares: Gerência de Configuração, Gerência de Falhas, Gerência de Desempenho, Gerência de Segurança e Gerência de Contabilidade (STALLINGS, 1999).

Esta dissertação subsidiará a Gerência de Desempenho e Gerência de Configuração. O gerenciamento do Desempenho implica na coleta, monitoramento e avaliação do comportamento do sinal. O gerenciamento de Configuração permite a tomada de decisão caso seja detectada uma alta degradação do sinal.

1.3 Organização da Dissertação

Esse trabalho está dividido em sete capítulos e organizado como se descreve na sequência.

O capítulo 2, intitulado APLICAÇÃO DE REDES DE SENSORES SEM FIO EM AMBIENTE INDUSTRIAL, traz publicações referentes ao ambiente industrial, auxiliando como comparativo aos dados coletados em minha pesquisa.

O capítulo 3, ANÁLISE DE SINAL DE RSSF EM AMBIENTE INDUSTRIAL, descreve a estratégia utilizada para identificação, análise e gestão da RSSI no ambiente industrial.

O capítulo 4, denominado MATERIAIS E MÉTODOS, descreve como o experimento foi conduzido.

No capítulo 5, RESULTADOS OBTIDOS, apresenta os resultados logrados nos experimentos.

A ANÁLISE DOS RESULTADOS, capítulo 6, apresenta a análise proposta para os resultados obtidos no Capítulo 5.

O capítulo 7, denominado CONSIDERAÇÕES FINAIS, descreve a conclusão da dissertação e os trabalhos futuros.

2 APLICAÇÃO DE REDES DE SENSORES SEM FIO EM AMBIENTE INDUSTRIAL

Este capítulo contextualiza as redes no ambiente industrial, descreve a importância da utilização de Múltiplas Bases em RSSF para ambiente industrial e apresenta artigos relacionados a redes de sensores sem fio no ambiente industrial.

2.1 RSSF no Ambiente Industrial

Buscando informações sobre RSSF no ambiente industrial, identifica-se que essa tecnologia foi proposta há vários anos, porém sua aplicabilidade ainda está avançando.

A implementação de uma RSSF atende locais onde a conexão a cabo ou a fibra não são possíveis, além do custo da implementação dessas redes serem altos se comparados ao das RSSFs. Entretanto, a RSSF caracteriza-se como uma rede instável. Para combater essa instabilidade, sugere-se a utilização de Multi-Sink (FRIEDMANN, 2007) ou a utilização de múltiplas fontes para múltiplos destinos. A instabilidade de uma RSSF deixará de ser um problema, se assumirmos a existência de várias bases. Um Nó Sensor efetua a conexão com uma determinada Base, caso esta, apresentar algum problema, a Gerência de Desempenho efetuará a identificação da paralisação da conexão e solicitará à ação da Gerência de Configuração, que efetuará a mudança de roteamento, assim, esse Nó Sensor passa a se conectar a uma outra Base.

2.2 Trabalhos Relacionados

Como critério de seleção dos trabalhos na Literatura, considerou-se a existência de dados reais ou referente a simulações, de modo a ser feita uma comparação com os resultados obtidos na coleta de RSSI efetuada na indústria onde os testes foram realizados, os quais consistiram da coleta de dados reais obtidos em um ambiente industrial.

Zinonos (2012) descreve a utilização das medidas efetuadas em uma refinaria de petróleo para a validação de um novo modelo de propagação de rádio

para uso em um simulador denominado COOJA. Nesse trabalho, o objetivo da coleta das informações auxiliou no monitoramento dos trabalhadores em um ambiente de risco, onde a existência da informação indicava a consciência do operador.

No artigo, a distância máxima medida foi de 29m, enquanto nesta dissertação foi de 95m. Os resultados estatísticos da média e valor mínimo foram bem semelhantes, conforme visualiza-se na Tabela 1.

Tabela 1. Comparação Estatística

	Distância	Média (dBm)	Vi. Mínimo (dBm)	Vi. Máximo (dBm)
Artigo	29 m	-57,34	-90	-27
Dissertação	30 m	-59,27	-91	-52,5

Mikhaylov (2012) descreve o comportamento de diferentes rádios, utilizando diferentes bandas em um ambiente industrial para o monitoramento de substâncias a granel. O objetivo do autor é avaliar, nas diferentes opções de rádio e bandas, a melhor cobertura a partir de um experimento real em um ambiente industrial.

Em relação a esta dissertação, a banda utilizada foi de 915 MHz. Não fiz a comparação com diferentes rádios e sim, fiz testes com um único rádio em ambientes diferentes. Iniciei os testes considerando altas temperaturas, inserindo o rádio próximo ao forno. Em seguida o rádio ficou na chuva e por último o mesmo foi submetido à altos ruídos, estando bem próximo as prensas. Nos três testes realizados o rádio não parou de funcionar, nem apresentou perdas de conexão temporárias.

Luqueta (2012), efetua a caracterização de RSSF no ambiente industrial. Em comparação a minha dissertação, esse artigo utilizou a mesma potência de transmissão e a mesma frequência. O artigo analisou três cenários, estando estes demonstrados com as médias obtidas na Tabela 2.

Tabela 2. Distâncias e Médias

Distância	Média (dBm)
2 m	-45,6
10 m	-68,7
30 m	-83,9

Considerando esta dissertação, pode-se fazer um comparativo com as médias obtidas no artigo, ressaltando que as distâncias que apresentaram uma média próxima ficou entre dois cenários apresentados na dissertação e que as distâncias são superiores. Esse comparativo pode ser visualizado a partir da Tabela 3.

Tabela 3. Comparativo de Médias

Distância (Artigo)	Distância (Dissertação)	Média (dBm)
2 m	8 m	-39,41
	15 m	-58,58
10 m	30 m	-59,27
	50 m	-72,11

Para a distância de 30m descrita no artigo, a média calculada na dissertação, que mais se aproximou foi a de -87,85 dBm, mesmo tendo ultrapassado um pouco do valor, foi a referente a 95m.

Bourke (2007) faz uma comparação entre dois padrões para redes de sensores sem fio para redes industriais, o ISA 100.11a e o WirelessHART. São apresentadas as características de ambos e, como solução para a indústria, o ISA 100.11a se apresenta de forma superior.

Esse artigo não é relevante para efetuarmos comparação com minha dissertação, e sim, por apresentar padrões para utilização de RSSF no ambiente industrial.

3 ANÁLISE DE SINAL DE RSSF EM AMBIENTE INDUSTRIAL

Esse capítulo descreve as estratégias utilizadas para identificação, análise e gestão de redes de sensores sem fio com base no ambiente industrial. As medidas de RSSI foram necessárias para compor a base de dados dos sinais analisados. Essas medidas são utilizadas para estabelecer um método de análise do comportamento do sinal. O método proposto subsidia as estratégias de Multi-Sink, quando um Nó Sensor pode se conectar a duas bases, garantindo assim, a confiabilidade da rede utilizada. Para a identificação do método de análise proposto, foi apresentada uma síntese do ambiente industrial onde as medidas de RSSI foram coletadas.

3.1 Ambiente Industrial

Para a execução desse trabalho, utilizou-se uma rede de sensores sem fio com uma base e um nó sensor. A base foi inserida no centro da fábrica.

Foram definidos sete pontos para a colocação do nó sensor. Essa escolha se deu em função da distância do nó sensor em relação à base. Foram considerados, também, os componentes existentes na fábrica, tais como: tráfego de pessoas e empilhadeiras, presença de fornos, prensas e painéis elétricos, e existência de corredores.

Antes da definição desses sete pontos, foram efetuados testes de outros 20 pontos, para obter um conjunto de pontos que efetuasse a cobertura de sinal em toda a fábrica, definiram-se alguns pontos onde existe linha de visada entre o nó sensor e a base, pontos nos quais existe grande tráfego de pessoas. Em outros pontos, não há tráfego de pessoas. A existência de corredores em alguns cenários foi essencial para haver o tráfego de empilhadeiras e também um trânsito maior de colaboradores, além daqueles escalados para trabalhar em cada célula da fábrica.

Pontos próximos a elementos fabris, tais como, fornos, prensas e painéis elétricos, foram contemplados, para que pudesse ser avaliada a existência de interferência do sinal causada por esses componentes. As distâncias escolhidas também foram importantes, de modo a caracterizar a perda da intensidade do sinal.

Cada um desses pontos denomina-se Cenário. Na Figura 1, de forma simples, é representada a definição dos sete cenários selecionados, identificados

por uma referência de distância em relação à base, para uma visão geral dos cenários no ambiente industrial. O Capítulo 4 descreve com detalhes, os cenários selecionados para a inclusão do Nó Sensor.

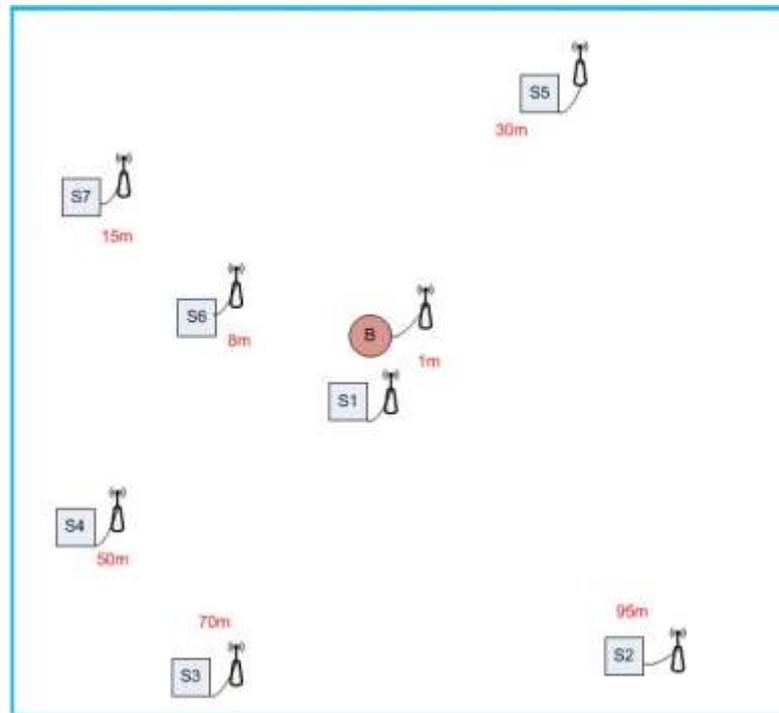


Figura 1. Disposição dos Nós Sensores na Fábrica

Foram efetuadas as medidas de intensidade de sinal e de perda de pacote nos sete pontos, por um período, em média de 48H por cenário. Obteve-se uma média de coleta de intensidade de sinal de 91.000 amostras.

3.2 Proposta para Análise do Sinal

Avaliando os sinais coletados em cada um dos cenários, a proposta consiste na análise do sinal, utilizando janelas deslizantes, considerando janelas de tempo de 60s e 120s. Esses intervalos foram escolhidos para identificar qual deles seria o período mais adequado para a ocorrência da degradação do sinal.

As janelas são aplicadas em determinados trechos dos cenários, identificando a degradação do sinal. Para uma melhor compreensão da estratégia, foi utilizado o exemplo apresentado na Figura 2.

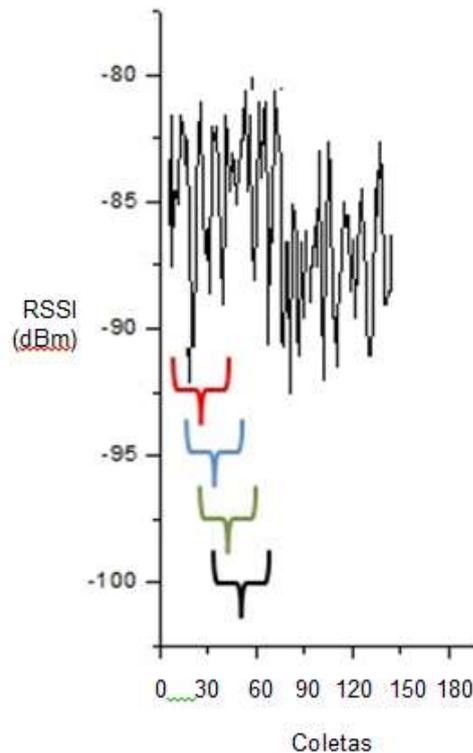


Figura 2. Exemplo da Aplicação do Modelo

Considerando o exemplo apresentado na Figura 2, temos quatro janelas, que contêm 60s de amostras de dados. As janelas deslizam de 1 em 1 segundo. Visualizando o deslizamento das janelas, identifica-se:

- Na janela 1, representada pela cor vermelha, contempla o *range* de RSSI da posição 0 até à posição 60. Nesse *range* nota-se uma variação de sinal de -81 a -92 dBm.

- A janela 2, representada pela cor azul, apresenta o *range* de RSSI da posição 1 até à posição 61, demonstrando uma variação de sinal de -83 a -92 dBm.

- O *range* de RSSI na janela 3 é da posição 2 até a posição 62. Essa janela está representada pela cor verde e demonstra uma variação de sinal de -80 a -92 dBm.

- A janela 4, demonstrada pela cor preta, apresenta o *range* de RSSI da posição 3 até a posição 63, demonstrando uma variação de sinal de -81 a -88 dBm.

Em função da grande variabilidade dos sinais de alguns cenários considerados nesta dissertação, no melhor do meu conhecimento, não foi possível efetuar uma estatística geral para representar essa variação assim,

sugere-se a implementação de janelas deslizantes, atreladas a Running Statistics (SMITH, 1997), estatística em tempo real do sinal.

Ao aplicar esse método de análise, é possível identificar a degradação do sinal no momento em que ela estiver ocorrendo. Isso possibilita ao *software* de gerência que analisa o desempenho da Rede ter indicadores para a tomada de decisão.

Foram calculados, para a demonstração do método de análise sugerido, a Média Móvel, o Desvio Padrão, o valor Máximo, o valor Mínimo e o Delta, além de apresentar as perdas de pacotes ocorridas.

Na sequência, serão demonstradas as fórmulas para a execução dos cálculos.

A Média Móvel foi calculada considerando a *RSSI* coletada, a mesma foi transformada em watts, considerando a fórmula:

$$0,001 * 10 ^{(RSSI / 10)} \quad (1)$$

Em seguida a média foi calculada:

$$(soma(v1:v60)/60) \quad (2)$$

Para finalizar, a média móvel, foi transformada em dBm, considerando a fórmula:

$$10 * \log(v_média_móvel / 0,001) \quad (3)$$

O Desvio Padrão identifica o quanto de variação existe em relação aos dados coletados e a média. Calcula-se o Desvio Padrão a partir da fórmula:

$$\sqrt{\text{variância}} \quad (4)$$

A Variância analisa o grau de variabilidade de intensidade de sinal, quanto maior a variância, identifica-se maior dispersão nos dados.

O Delta calculado é a diferença entre o valor máximo e o valor mínimo, conforme apresentado pela fórmula:

$$\text{Delta} = \text{Valor_Máximo} - \text{Valor_Mínimo} \quad (5)$$

Os cálculos serão apresentados no Capítulo 6.

A Perda de Pacotes (*PER*), foi coletada em cada um dos cenários. Uma *PER* considerada como tolerável é de até 5% (ASSUMPÇÃO, 2011).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Esse capítulo descreve o ambiente, os componentes, os métodos e os cenários utilizados na execução da coleta de RSSIs e as peculiaridades do ambiente industrial, onde os testes foram realizados na indústria, conforme Figura 3.

A MAHLE Metal Leve Miba Sinterizados Ltda (MMLMS), foi o ambiente industrial utilizado para a coleta de informações contidas neste trabalho. À autorização da Empresa, apresenta-se no Anexo A.



Figura 3. MAHLE Miba (MAHLE, 2014)

4.1 Ambiente

Para a execução desse trabalho, utilizou-se uma rede de sensores sem fio com uma base e um nó sensor.

O Anexo B apresenta a planta baixa da estrutura fabril, na qual é possível visualizar os setores que compõem a parte fabril, a localização das prensas, fornos, painéis elétricos e também os corredores, com grande tráfego de pessoas e empilhadeiras. Posteriormente, são indicados os pontos onde foram localizados o nó sensor e a base.

Um ambiente industrial é composto por vários componentes, tais como: prensas, ilustradas na Figura 4, fornos, representados na Figura 5, painéis elétricos, colaboradores, palete e empilhadeiras, apresentados na Figura 6.



Figura 4. Prensa Industrial (PRENSA, 2015)



Figura 5. Forno Industrial (FORNO, 2015)



Figura 6. Paletes na empilhadeira (PALETE, 2015)

No ambiente fabril, é importante enfatizar que próximo a um componente, seja ele uma prensa ou um forno, sempre existe um colaborador trabalhando. Nessa unidade, onde o experimento foi efetuado, há três turnos, ou seja, a fábrica funciona 24h por dia, de segunda à sexta-feira e até às 16h aos sábados.

Nos corredores, existe o tráfego dos colaboradores da produção e também do setor administrativo, além das empilhadeiras que trafegam com peças ou *hoppers* de mistura, para o abastecimento das prensas.

Para a execução dos testes, foi necessária uma estrutura básica, composta por uma mesa, na qual o *notebook* foi inserido. Podemos visualizá-la na Figura 7.

A Base estava ligada ao *notebook* e apoiada a um suporte contido na parede, representado pela seta vermelha da figura. A base ficou a 1,80m do chão, representado pela seta preta.

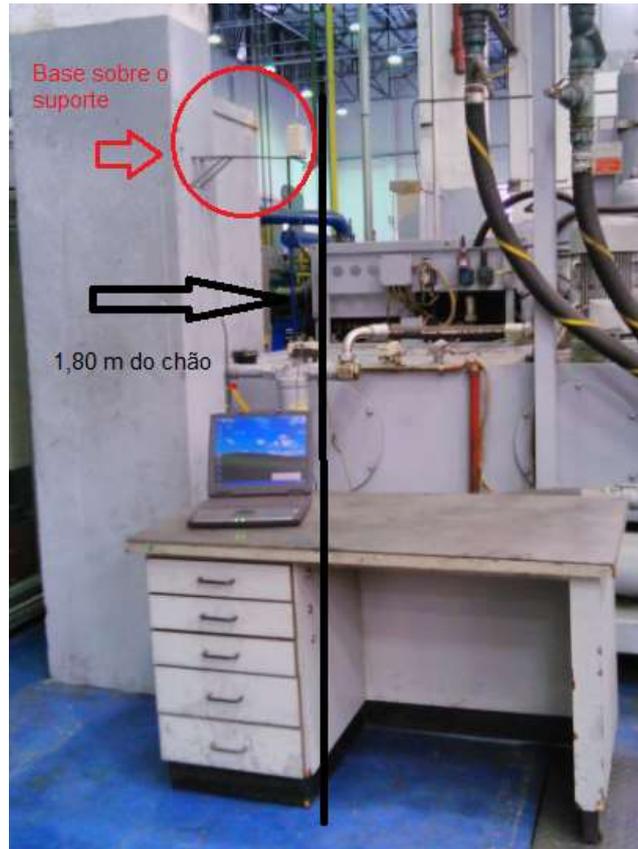


Figura 7. Base e Notebook a partir do chão

A Base permaneceu em um suporte na parede, como demonstra a Figura 8.



Figura 8. Base no Suporte

Além de uma Base para a execução desse experimento, foi utilizado um nó sensor, apresentado pela Figura 9, identificado por um círculo preto. Esse sensor foi instalado em um tripé, representado por uma seta azul. Nesse sensor, esteve conectada uma antena, que pode ser visualizada com a seta vermelha na figura.

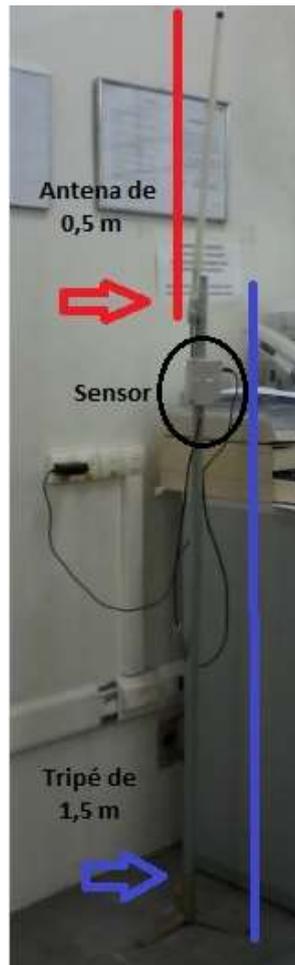


Figura 9. Nó Sensor no Tripé

A altura de 1,5m é uma altura de referência no ambiente fabril em função do tamanho das prensas, fornos e painéis elétricos, garantindo que o sinal será recebido e enviado.

O nó sensor foi posicionado em diferentes locais da fábrica, definidos para realizar medidas de menor à maior distância e denominados Cenários.

4.1.1 Cenários

Nesta seção são descritas as características, as peculiaridades e os componentes presentes em cada um dos cenários.

Foi escolhido um tempo de 48h de coleta de dados, uma vez que esse período é suficiente para identificar os eventos ocorridos nesses cenários. Porém, foram realizados testes de 6, 12, 24 e 36H, onde não foi possível identificar a

ocorrência de todos os eventos. Já em um período superior à 48H, também foram efetuados testes, mais ocorreu à repetição dos eventos.

Para uma melhor compreensão de cada cenário, será criada uma representação gráfica e fotos serão apresentadas do ambiente fabril. Para que a representação gráfica seja interpretada com facilidade, identificam-se os elementos que a compõem na Tabela 4.

Tabela 4. Elementos da Representação Gráfica dos Cenários

Representação	Descrição	Representação	Descrição
	Colaborador		Painel Elétrico
	Empilhadeira		Notebook
	Palete		Base
	Prensa		Nó Sensor
	Forno		Antena
	Posto dos Colaboradores		

4.1.1.1 Cenário 1

Esse cenário é denominado cenário de referência, por se tratar de uma distância de 1m.

O nó sensor foi colocado a um metro da base, em linha de visada. Não havendo entre eles: fluxo de empilhadeiras e colaboradores, nem a presença de componentes fabris. A representação gráfica desse cenário pode ser visualizada na Figura 10, em que se pode identificar próximo ao nó sensor e a base duas prensas e alguns paletes. Em torno desse cenário, há corredores, onde trafegam colaboradores e empilhadeiras.

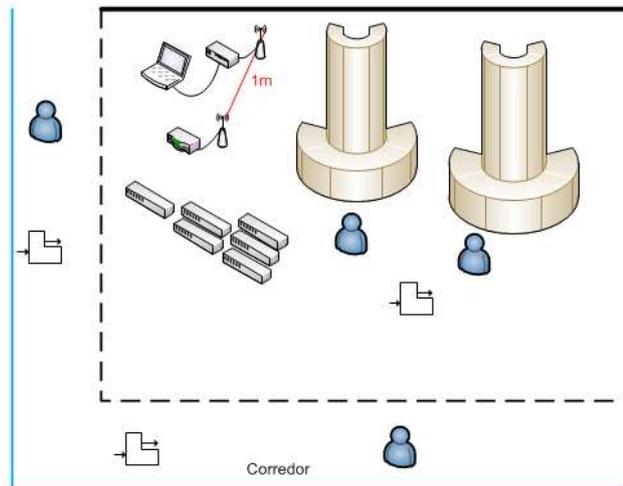


Figura 10. Representação Gráfica do Cenário 1

A Figura 11 demonstra esse cenário no ambiente industrial. A base está representada pelo círculo vermelho e o nó sensor, pelo quadrado cor de rosa.



Figura 11. Cenário 1 no Ambiente Fabril

4.1.1.2 Cenário 2

Esse cenário apresenta a maior distância, 95m entre o nó sensor e a base, com o maior número de obstáculos entre eles e ao redor deles. Entre o nó sensor e a base existem prensas, fornos, painel elétrico, e não há linha de visada. Existe um alto tráfego de pessoas e de empilhadeiras.

A representação desse cenário pode ser visualizada na Figura 12, que apresenta uma reta ligando a base ao nó sensor, apresentando todos os elementos fabris entre esses dois elementos e em torno dos mesmos.

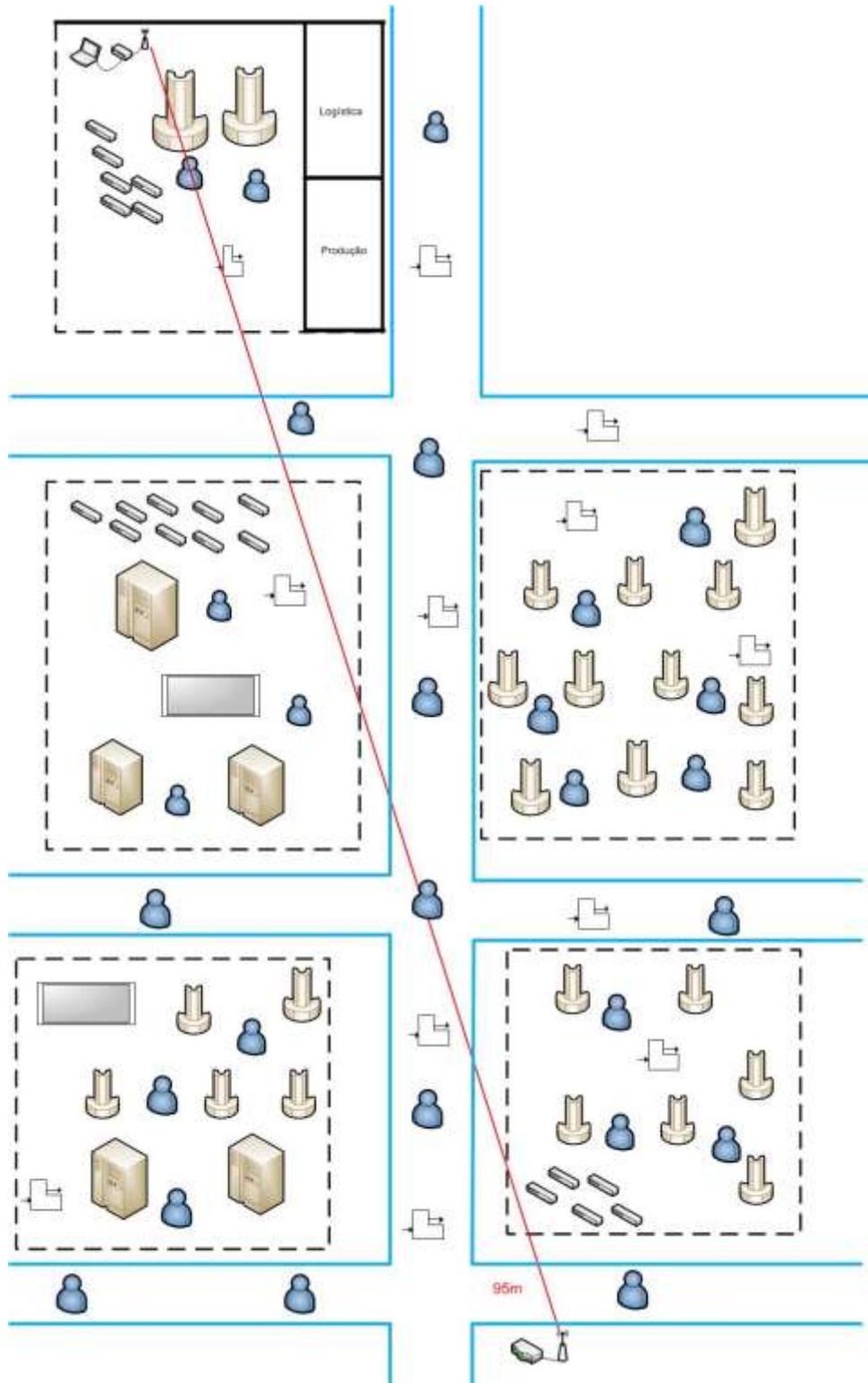


Figura 12. Representação Gráfica do Cenário 2

Na Figura 13, pode-se verificar que o nó sensor está identificado pelo círculo vermelho e que este está à frente de um pilar.



Figura 13. Cenário 2 no Ambiente Fabril

4.1.1.3 Cenário 3

Nesse cenário o nó sensor foi inserido em uma célula de produção, havendo um grande tráfego de colaboradores e empilhadeiras. Entre o nó sensor e a base, não houve linha de visada e a distância entre eles foi de 70m. Pode-se visualizar a representação desse cenário na Figura 14, em que foi traçada uma reta que indica a distância entre o nó sensor e a base.

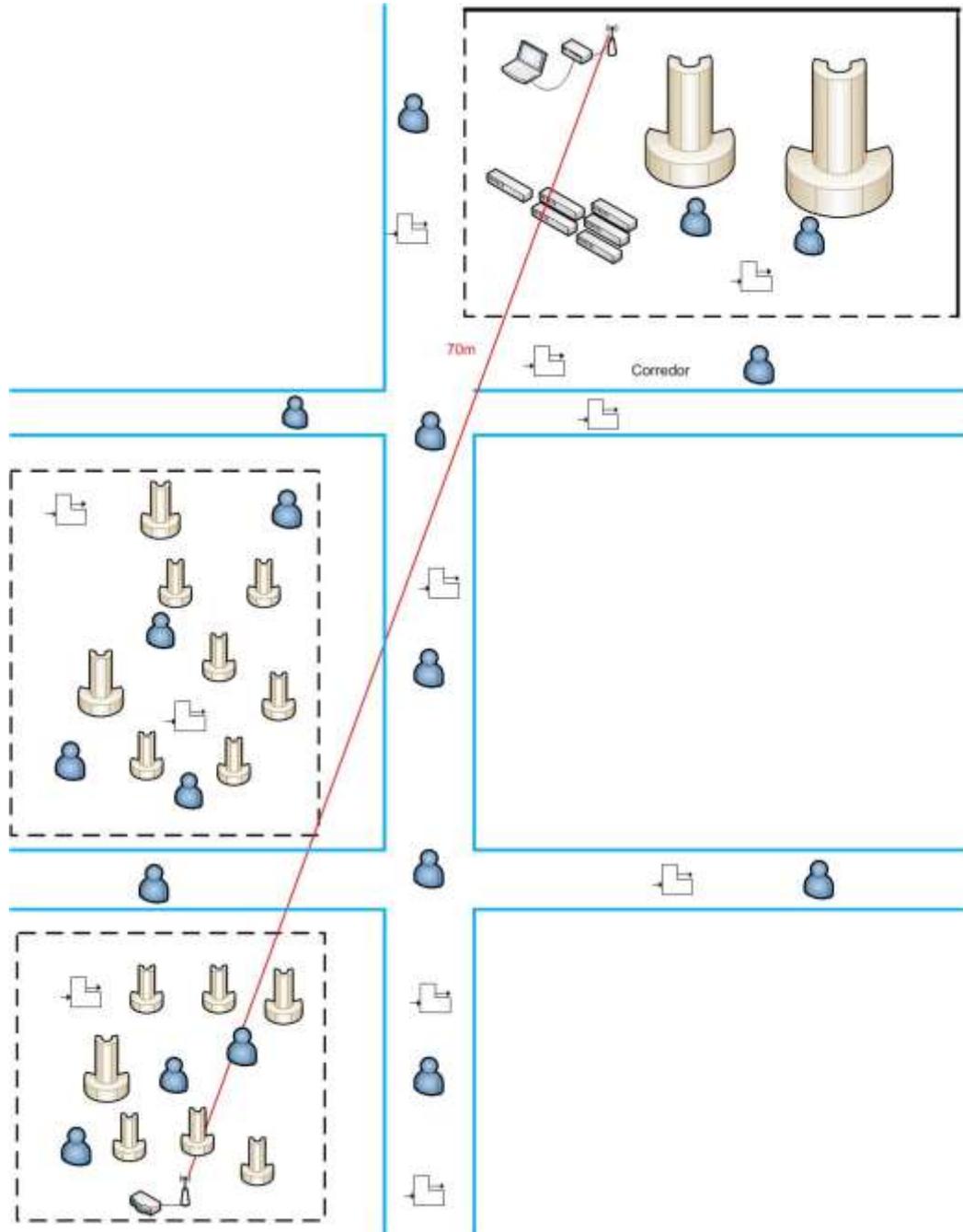


Figura 14. Representação Gráfica do Cenário 3

O sensor nesse cenário está representado pela seta vermelha, apresentada na Figura 15. O tripé estava à frente de uma parede, porém, na mesma, não existia ponto de energia, por isso o nó sensor esteve ligado por bateria.



Figura 15. Cenário 3 no Ambiente Fabril

4.1.1.4 Cenário 4

No Cenário 4, o fluxo de colaboradores e empilhadeiras é grande, em função do nó sensor ficar próximo à junção de dois corredores. Nesse cenário, a distância entre o nó sensor e a base é de 50m, visualizada na Figura 16.

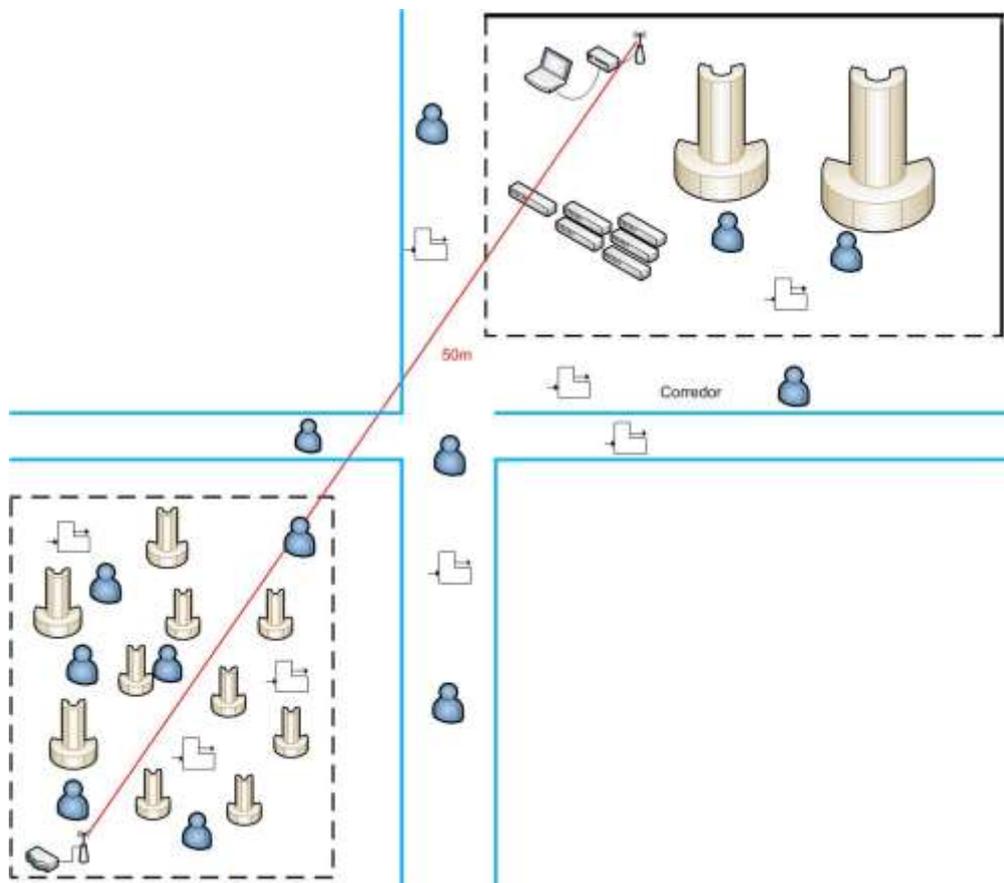


Figura 16. Representação Gráfica do Cenário 4

A Figura 17 apresenta o nó sensor nesse cenário. O tripé com o nó sensor foi colocado à frente de um pilar e o nó sensor está identificado pelo círculo vermelho.



Figura 17. Cenário 4 no Ambiente Fabril

4.1.1.5 Cenário 5

Nesse cenário, entre o nó sensor e a base, com distância de 30m, há um grande tráfego de empilhadeiras e colaboradores, em razão da existência de corredores entre eles e em torno deles. Pode-se ver a representação desse cenário na Figura 18.

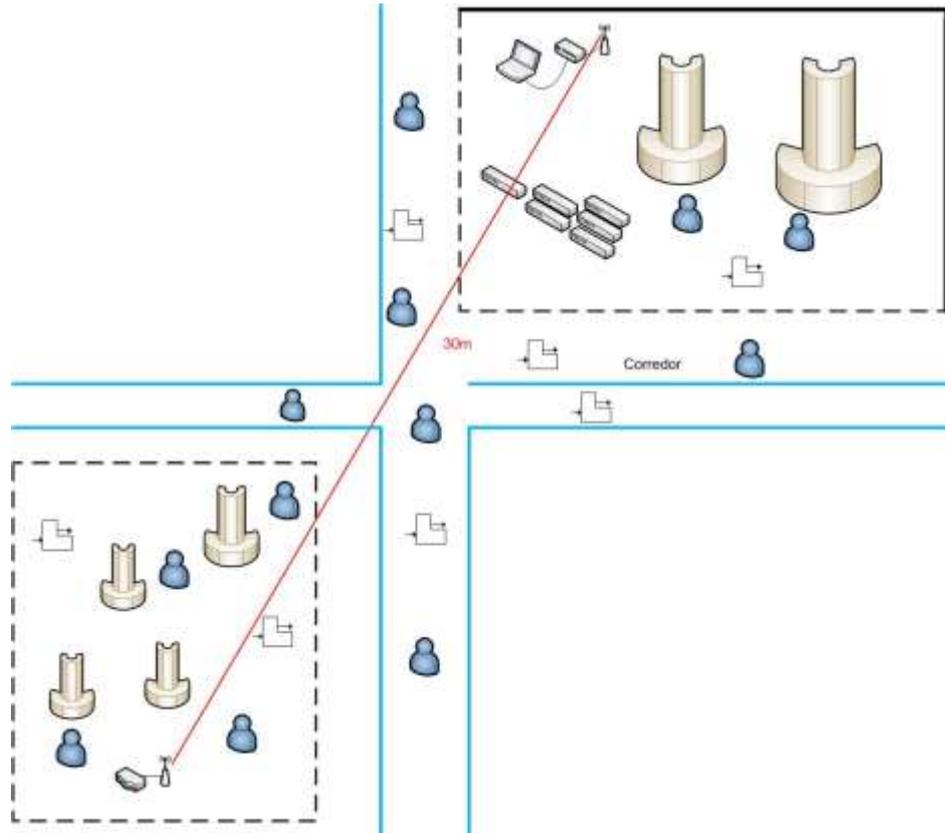


Figura 18. Representação Gráfica do Cenário 5

O nó sensor foi colocado no centro de uma estrutura metálica, para avaliar se esta resultaria em perda de pacote ou alteração no sinal. Visualiza-se o nó sensor indicado pelo círculo vermelho na Figura 19.

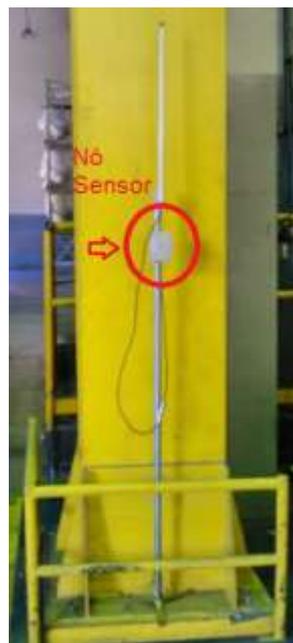


Figura 19. Cenário 5 no Ambiente Fabril

4.1.1.6 Cenário 6

No Cenário 6, há linha de visada, distância de 8m entre o nó sensor e a base. Não há fluxo de empilhadeira, nem de colaboradores. A representação desse cenário pode ser visualizada na Figura 20.

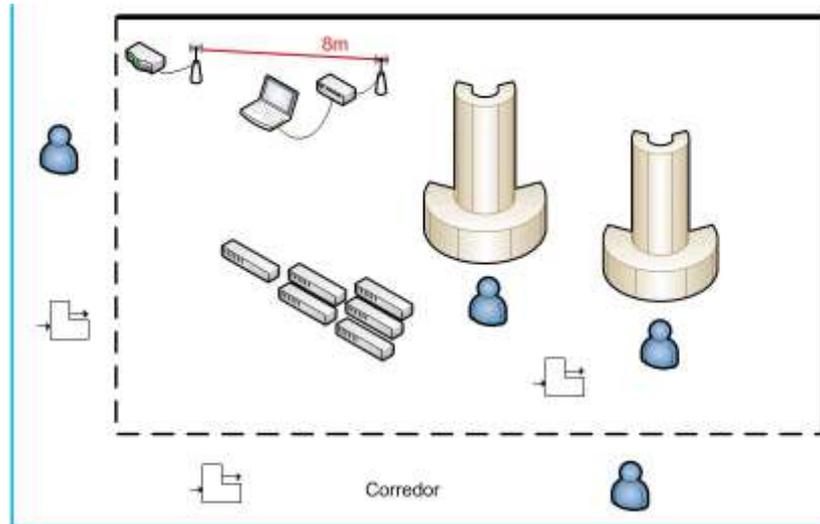


Figura 20. Representação Gráfica do Cenário 6

Na figura 21, verifica-se o nó sensor desse cenário, representado pelo círculo vermelho.



Figura 21. Cenário 6 no Ambiente Fabril

4.1.1.7 Cenário 7

Nesse Cenário, o nó sensor foi colocado ao lado de uma bancada onde os colaboradores efetuam o lançamento da produção e as aferições de Qualidade. Por existir um corredor entre o nó sensor e a base, há um grande tráfego de empilhadeiras e colaboradores. A distância entre o nó sensor e a base é de 15m e está representada pela reta em vermelho, na Figura 22.

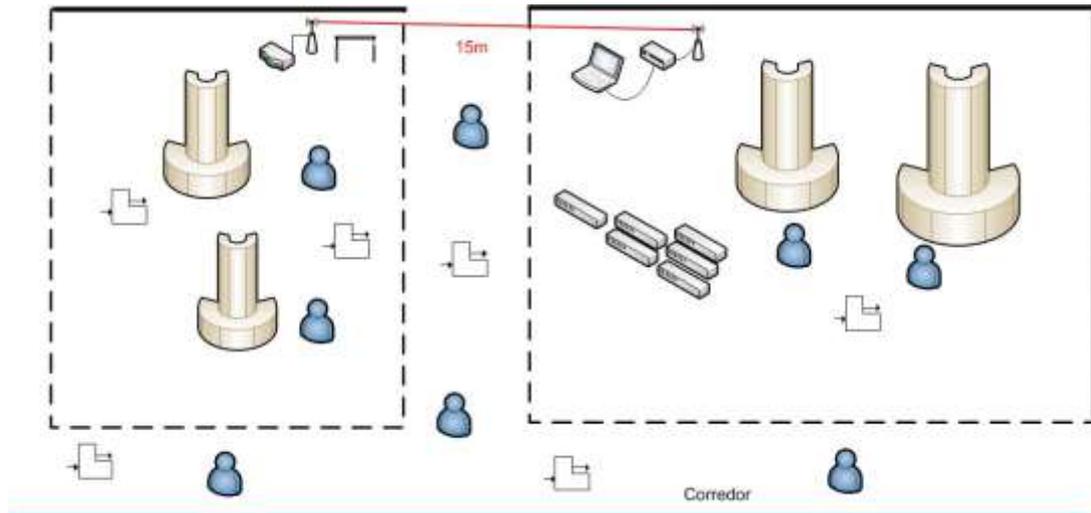


Figura 22. Representação Gráfica do Cenário 7

A Figura 23 representa a imagem do nó sensor nesse cenário, identificado pela seta vermelha.



Figura 23. Cenário 7 no Ambiente Fabril

4.2 Setup de Teste

Para a coleta de RSSI no ambiente ser efetuada, foi necessária uma estrutura básica, que contou com os elementos abaixo descritos:

- a) Um *notebook*, utilizado para armazenar a coleta das RSSIs. Esse equipamento representa o gerente da rede capturando a RSSI, sendo identificado como uma gerência de desempenho. Em uma aplicação real, esse equipamento seria ligado à Internet.

No *notebook*, foi instalada uma aplicação em Python, desenvolvida na PUC-Campinas, de uso gratuito, que possibilitou a coleta dos dados. A tela da aplicação está na Figura 24. Para operar a aplicação, é necessário informar apenas os endereços da porta COM, ID da Base e do Sensor, mostrado pelo círculo em azul na figura. O tempo de coleta deve ser digitado, identificado pelo círculo verde na figura. Marcar a opção identificada pela seta em laranja na figura, que garante a gravação das informações em um arquivo com extensão txt. Para que a coleta se inicie, é necessário clicar sobre o botão: Coleta INSTANTÂNEA / ou / INICIAR, representado pela seta em preto, contida na figura.



Figura 24. Aplicação em Python

- b) A Figura 25 apresenta a base utilizada na coleta das informações, identificada pelo círculo em vermelho.

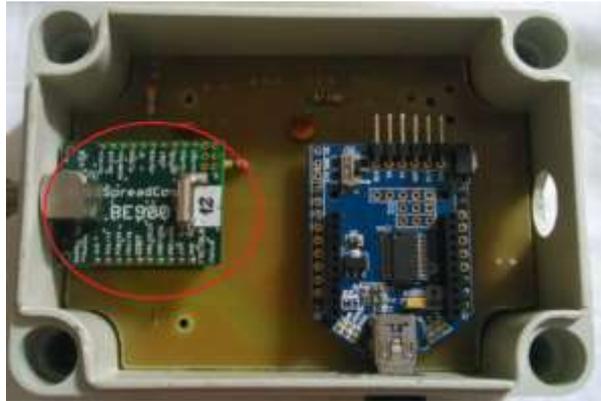


Figura 25. Base

Para que os dados pudessem ser identificados, nessa Base foi utilizada uma Antena Monopolo Vertical Simples. Essa antena foi montada em um conector SMA com dimensão de $\lambda/4$.

Sendo, $\lambda = 3 \times 10^8$
 915×10^6 , resultando em $\lambda = 0,3279\text{m}$ ou $32,79\text{cm}$.

c) A Figura 26 mostra o nó sensor utilizado, indicado por um círculo laranja.



Figura 26. Nó Sensor

O nó sensor utilizou uma Antena Omnidirecional. A antena Omnidirecional irradia igualmente para todas as direções em um plano, e é utilizada em coberturas de grandes salões, por exemplo, a fábrica, onde existem vários usuários distribuídos nessa área.

4.3 Plataforma Rádiuino

A plataforma utilizada para programar a RSSF foi a Rádiuino (RADIUINO, 2015), por ser uma plataforma de código aberto e flexível.

Essa plataforma utiliza tamanho fixo de pacote com 52 *bytes*. Para as quatro primeiras camadas, é previsto um cabeçalho de 4 *bytes*. A camada de aplicação possui o mapeamento de cinco entradas e saídas digitais, e cinco conversores analógico-digitais. No teste, foi utilizada somente a informação de RSSI da camada física, *bytes* 0 e 2.

O módulo com o rádio e o microcontrolador usado para a experiência é chamado BE900 e produzido no Brasil. O módulo BE900 possui homologação da Anatel e informações sobre o BE900 estão disponíveis no Anexo I.

Foram transmitidos pacotes de descida e subida (do sensor em direção à base e da base em direção ao sensor), utilizando uma modulação *Frequency Shift Keying* (FSK). Essa modulação é compatível com o padrão 802.15 4G (CHANG, 2012).

A transmissão ocorre na banda de frequência de 915 MHz. Essa frequência está regulamentada pela Anatel, para ser utilizada por redes de sensores sem fio (GARAY, 2008), sendo uma banda ISM (*Instrumentation, Scientific and Medical*) para uso livre de licença.

Configurou-se a potência máxima de transmissão do Módulo BE900, que é de 10 dBm, a fim de garantir medidas em uma área de maior cobertura.

Em alguns cenários do ambiente, não existe energia para a alimentação do nó sensor, nesse caso, foi necessário utilizar uma bateria de lipo, que pode ser visualizada na Figura 27.



Figura 27. Bateria

5 RESULTADOS OBTIDOS

Nesse capítulo são apresentados, para cada um dos cenários, os resultados das medições. Nos gráficos a seguir, o eixo X representa o número de coletas efetuadas em segundos e o eixo Y, a RSSI em dBm.

5.1 Cenário 1

A Figura 28, demonstra o comportamento da intensidade de sinal nesse cenário.

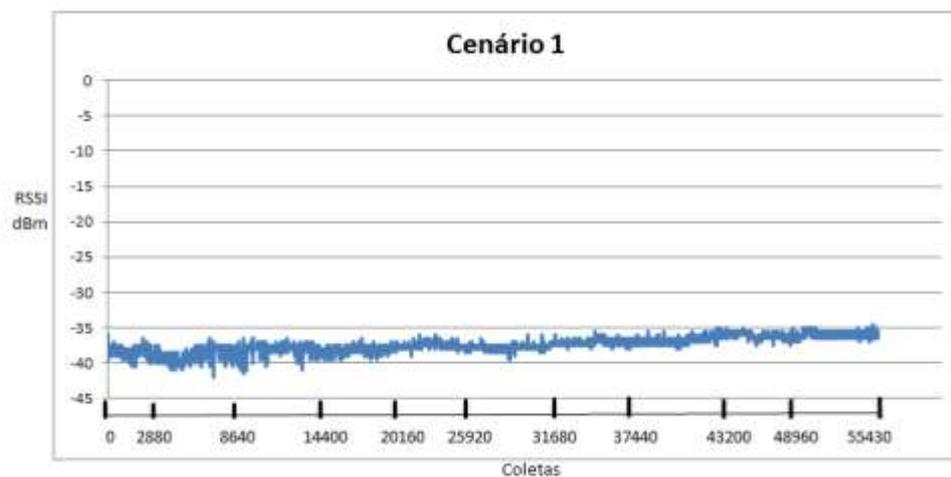


Figura 28. RSSI Cenário 1

Por se tratar de um cenário de referência, com distância pequena entre a base e o nó sensor e existindo linha de visada entre eles, era previsto que a variabilidade do sinal fosse pequena neste cenário. A média obtida foi de -37,42 dBm, o valor máximo foi de -34,50 dBm e o mínimo de -42 dBm. Essa variação encontrada, supõe-se, que é devido às alterações no ambiente. Entretanto, não são significativas se comparadas com os outros cenários.

Observa-se que há uma pequena variação em torno da média.

5.2 Cenário 2

Sendo o cenário que apresenta a maior distância entre o nó sensor e a base, a variabilidade do sinal é a mais evidente, conforme demonstra a Figura 29.

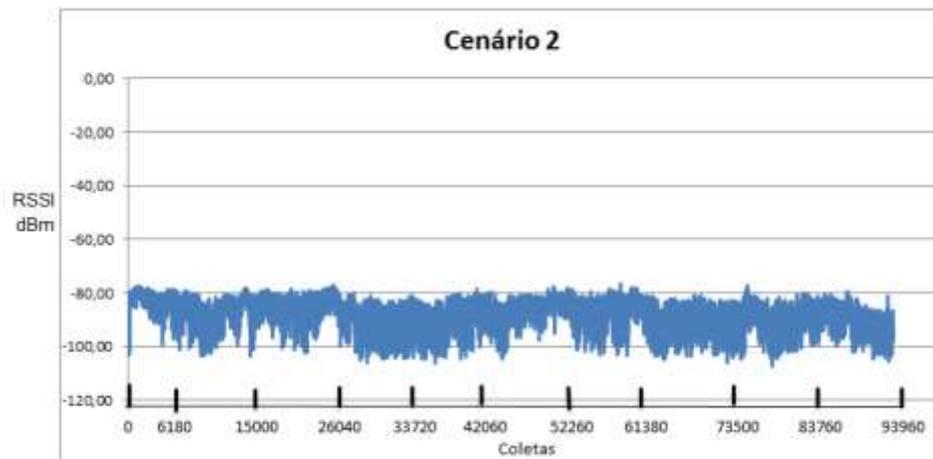


Figura 29. RSSI Cenário 2

Esse cenário pode ser considerado como o de maior interesse, em função da existência de vários componentes fabris entre o Nó Sensor e a Base, maior distância entre o Nó Sensor e a Base, e alto tráfego de empilhadeiras e pessoas.

A média obtida foi de -87,85 dBm, o valor máximo, de -76,50 dBm e o mínimo, de -107 dBm.

5.3 Cenário 3

A média obtida nesse cenário foi de -77,22 dBm, o valor máximo, de -70,5 dBm e o mínimo, de -103,5 dBm. A RSSI nesse cenário pode ser visualizada pela Figura 30.

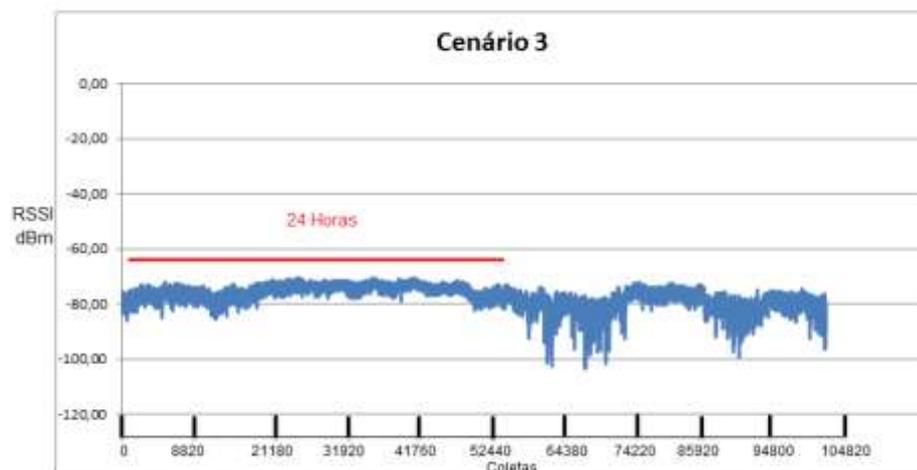


Figura 30. RSSI Cenário 3

Esse cenário demonstra uma mudança de padrão da variação da RSSI sem uma justificativa aparente. Durante cerca das 24 horas iniciais, o sinal ficou com

baixa variação. Nas 24 horas seguintes, houve grande variação em certos períodos. Esse cenário mostra a importância do uso das técnicas de *Running Statistics*, ou seja, a realização em tempo real da análise do comportamento da RSSI para subsidiar as decisões da gerência (SMITH, 1997).

5.4 Cenário 4

A RSSI nesse cenário pode ser vista na Figura 31. A mesma demonstra grande variação.

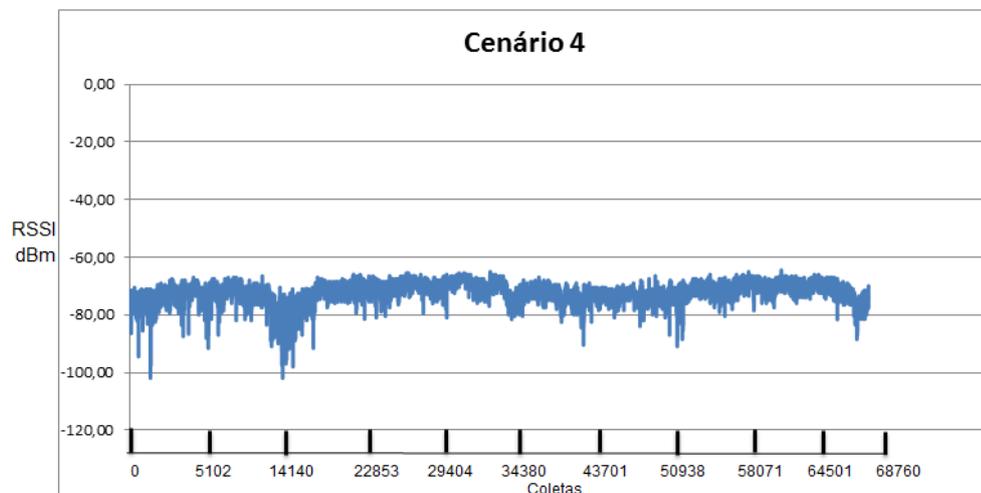


Figura 31. RSSI Cenário 4

A média nesse cenário foi de -77,11 dBm, o valor máximo, de -64,50 dBm e o valor mínimo, de -102 dBm, existindo um grande intervalo entre o valor máximo e o mínimo, de cerca de 38 dB.

5.5 Cenário 5

Nesse cenário, a RSSI apresentou picos de instabilidade, como se pode verificar na Figura 32. A média dos sinais foi de -59,27 dBm, o valor máximo, de -52,50 e o valor mínimo, de -91dBm.

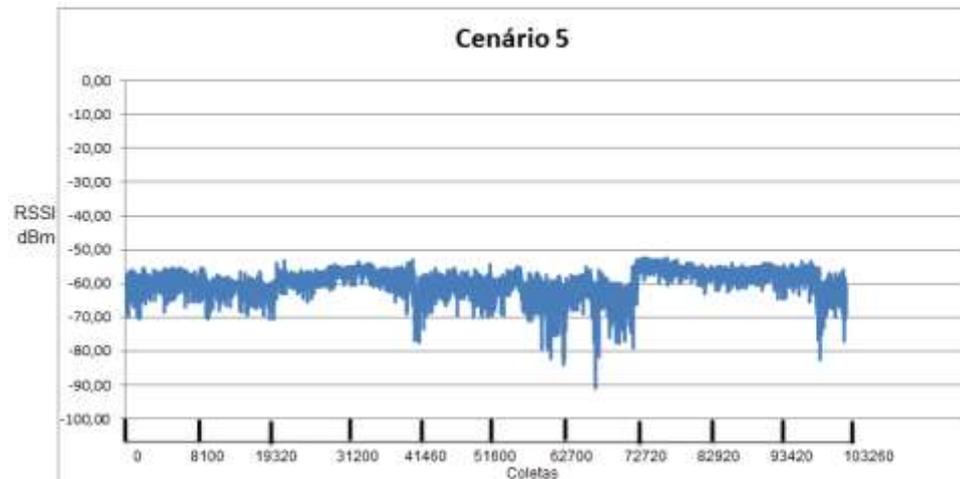


Figura 32. RSSI Cenário 5

Próximo à amostra 72.000, houve uma alteração brusca. Muito provavelmente, houve a mudança da posição do nó sensor, demonstrando que pequenas alterações de posição podem alterar significativamente a RSSI, nesse caso, cerca de 5 dB.

5.6 Cenário 6

O comportamento do sinal nesse cenário é muito semelhante ao do Cenário 1, em razão da existência de linha de visada entre o nó sensor e a base, da distância entre eles ser pequena e do não fluxo de pessoas e empilhadeiras entre eles. A representação desse cenário pode ser verificada na Figura 33.

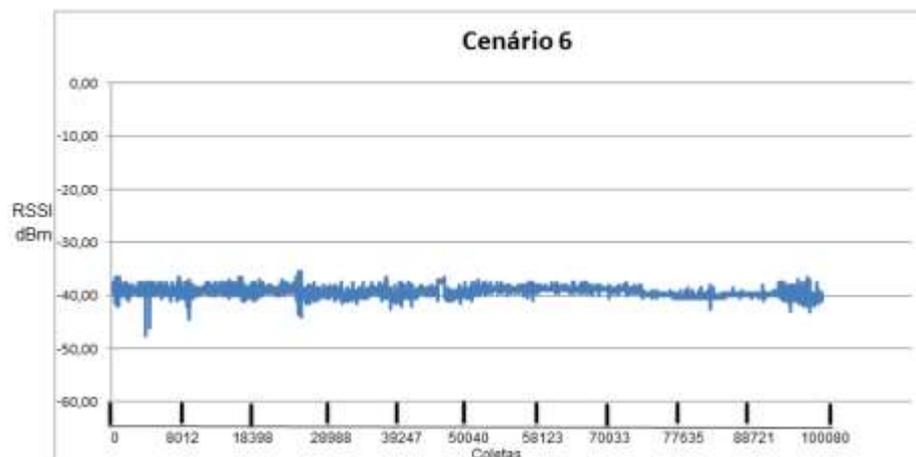


Figura 33. RSSI Cenário 6

Os valores de média, máximo e mínimo são baixos se comparados aos demais cenários, sendo a média de -39,41 dBm, o valor máximo de -35,50 dBm e o valor mínimo de -47,50 dBm. Esse cenário apresentou um setup estável.

5.7 Cenário 7

A representação da RSSI desse cenário pode ser vislumbrada na Figura 34, na qual se identificam, por vários momentos, altas degradações de sinais, principalmente nas últimas 24 horas. Muito provavelmente, a ocorrência dessas degradações se deu em função do alto tráfego de pessoas e da empilhadeira entre o nó sensor e a base, afinal, entre eles existe um corredor.

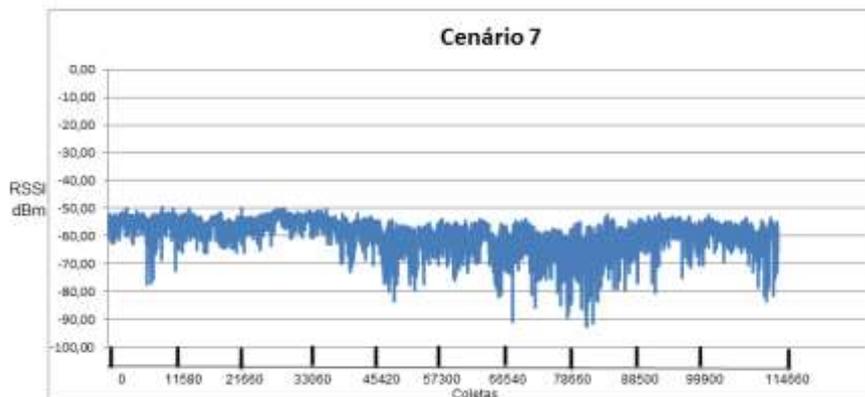


Figura 34. RSSI Cenário 7

A média resultou em -58,58 dBm, o valor máximo em -49,50 dBm e o valor mínimo em -92,50 dBm, obtendo uma variação de 43dB.

5.8 Considerações

Para cada um dos cenários acima, não é possível identificar a razão da degradação do sinal em cada um dos pontos em que ocorreu, mas sim em apenas algumas situações.

Uma situação causadora da degradação do sinal é o alto fluxo de pessoas. Esse alto fluxo é identificado na troca de turnos, que ocorre às 6h, 14h20 e 22h40. Por exemplo, considerando o Cenário 1, próximo à coleta de informações referente ao ponto indicado como 8.640s, apresentado na Figura 28, a hora em que a degradação do sinal ocorreu foi 15h30, horário que não se refere a troca de turnos.

Outro parâmetro que pode gerar a degradação do sinal é o fluxo de empilhadeiras. Esse fluxo está presente nos corredores e nas proximidades de prensas, mas é um parâmetro não controlável, afinal, várias empilhadeiras percorrem a fábrica a todo instante e em diversos horários.

Os componentes fabris, tais como, prensas, fornos e painéis elétricos podem contribuir para a degradação do sinal, mas para afirmar que a queda de sinal foi gerada por um forno, seria necessário garantir que, no período de coleta de um determinado cenário, esse forno esteve em funcionamento, e esse é outro parâmetro que não se controla com exatidão, pois os equipamentos fabris são paralisados para que manutenções sejam realizadas.

A forma mais efetiva de identificar a degradação do sinal é no momento em que ela ocorre, assim, o Capítulo 6 propõe um método de análise para a identificação da degradação do sinal.

6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta a proposta para que a análise da intensidade de sinal seja efetuada.

6.1 Análises Iniciais

Neste item, são analisadas as características gerais de cada ambiente.

6.1.1 Caracterização do Ambiente

Uma forma de caracterização dos cenários pode ser visualizada na Tabela 5, com uma análise quanto a: distância, tráfego de pessoas e empilhadeiras, existência ou não de componentes fabris e existência de linha de visada.

Tabela 5. Caracterização dos Cenários

Cenário	Distância	Tráfego de Pessoas	Existência de Prensas	Existência de Fornos	Existência de Painel Elétrico	Existência de Linha de Visada	Tráfego de Empilhadeiras
1	1 m	Não	Não	Não	Não	Sim	Não
2	95 m	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
3	70 m	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Sim
4	50 m	Sim	Sim	Não	Não	Não	Sim
5	30m	Sim	Sim	Não	Não	Não	Sim
6	8 m	Não	Não	Não	Não	Sim	Não
7	15 m	Sim	Não	Não	Não	Não	Sim

Uma análise que pode ser extraída dessa tabela se refere à repetição de parâmetros. O número de “Sims” é superior e a variação da intensidade de sinal é alta nesse ambiente industrial. Isso nos sugere que ao analisar um outro ambiente industrial, podemos construir uma tabela semelhante a esta e já ter um parâmetro inicial sobre o comportamento do sinal, se haverá uma tendência de ocorrer grande variação de sinal ou não.

6.1.2 Análise Estatística

A Tabela 6 apresenta os valores médios, máximos, mínimos e delta de cada cenário.

Tabela 6. Análise Estatística por Cenários

Cenário	Distância	Média (dBm)	Máximo (dBm)	Mínimo (dBm)	Delta (dB)
1	1 m	-37,42	-34,50	-42,00	7,50
2	95 m	-87,85	-76,50	-107,00	30,50
3	70 m	-77,22	-70,50	-103,50	33,00
4	50 m	-72,11	-64,50	-102,00	37,50
5	30m	-59,27	-52,50	-91,00	38,50
6	8 m	-39,41	-35,50	-47,50	12,00
7	15 m	-58,58	-49,50	-92,50	43,00

Por meio dessa tabela, é possível identificar algumas características:

- Cenários cujas distâncias entre o Nó Sensor e a Base são menores apresentam valores de média, máximos e mínimos maiores. Consequentemente, o valor do Delta é menor, conforme se pode verificar nos cenários 1 e 6, como seria esperado.
- Cenários como 2, 3 e 4, com maiores distâncias entre o Nó Sensor e a Base, apresentam os menores valores de média, máximo e mínimo.
- Cenários com distâncias intermediárias entre o Nó Sensor e a Base, como 5 e 7, apresentam os maiores Deltas.

A Tabela 7 apresenta a identificação da RSSI por faixa, com variação de 10 em 10 dB. Essa tabela foi idealizada por cobrir toda a variabilidade de sinal, contemplada nas medidas realizadas nesse ambiente industrial. A seleção das faixas seguiu como critério a identificação da RSSI em função da análise do sinal obtido nos testes, sendo uma forma proposta para classificação dos cenários.

Tabela 7. Classificação da RSSI

Classificação	RSSI
Excelente	> -50 dBm
Ótimo	entre -50 e -59,99 dBm
Bom	entre -60 e -69,99 dBm
Regular	entre -70 e -79,99 dBm
Ruim	entre -80 e -89,99 dBm
Péssimo	<= -90 dBm

Para que seja identificada a classificação por faixa para cada um dos cenários, identifica-se os percentuais contidos em cada intervalo de classificação, esse resultado será demonstrado na Tabela 8.

Tabela 8. Identificação dos Cenários por Faixa

Cenário	Distância	> -50 dB	entre -50 e -59,99 dB	entre -60 e -69,99 dB	entre -70 e -79,99 dB	entre -80 e -89,99 dB	<= -90
1	1 m	100%	0	0	0	0	0
2	95 m	0	0	0	1,30%	64,9%	33,8%
3	70 m	0	0	0	77,4%	22,3%	0,3%
4	50 m	0	0	24,3%	73,5%	2,1%	0,1%
5	30m	0	57,5%	42,2%	0,3%	0	0
6	8 m	100%	0	0	0	0	0
7	15 m	0	63,1%	35,6%	1,2%	0,1%	0

Considerando a Tabela 7, que contém a classificação da RSSI por faixa e a Tabela 8, que indica o percentual contido em cada faixa, sugere a Tabela 9 com o resumo da classificação dos cenários por faixa.

Tabela 9. Resumo dos Cenários por Faixa

Classificação	Cenários
Excelente	1 e 6
Ótimo	5 e 7
Regular	3 e 4
Ruim	2

Outro parâmetro a ser considerado em RSSF é a PER, apresentada na Tabela 10, nela exibe-se a PER referente aos dados totais de cada um dos cenários.

Tabela 10. PER

Cenário	PER
1	0,10%
2	21,52%
3	2,55%
4	0,34%
5	0,65%
6	0,14%
7	0,12%

Uma PER aceitável é de até 5%, conforme descrito no Capítulo 3.

A PER do Cenário 2, está muito acima do valor tolerável. Essa perda de pacotes alta, pode ser justificada em função desse cenário apresentar a maior distância entre a base e o nó sensor e por conter um grande número de elementos fabris entre eles.

6.2 Análise de Intervalos

Neste item, é apresentada uma estratégia de análise para a identificação da degradação do sinal, conforme descrito no Capítulo 3.

Como não faz sentido aguardar 48h para efetuar a análise dos dados e a partir desta proceder com a tomada de decisão, será efetuada uma análise considerando janela deslizante para a identificação da instabilidade do sinal.

A aplicação da estratégia de análise não será apresentada para os cenários 1 e 6, em razão destes já apresentarem em sua totalidade um sinal excelente. Para os demais cenários, foram definidos três trechos, denominados como T1, T2 e T3 para à aplicação do método proposto.

Nesse capítulo, será demonstrado um trecho por cenário para que seja comprovado o método de análise proposto. Serão apresentadas a Média Móvel, o Desvio Padrão e o Delta, considerando uma janela de 60s e também será descrita as perdas de pacotes identificadas em cada trecho.

As representações dos demais trechos e das Médias Móveis referente as janelas de 120s, farão parte do Apêndice II.

6.2.1 Análise do Cenário 2

A Figura 35 apresenta os trechos selecionados para esse cenário.

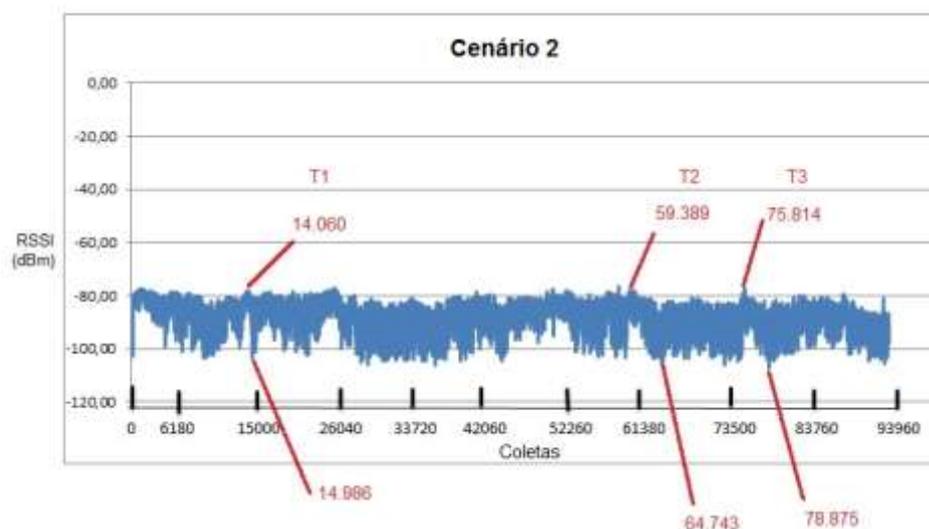


Figura 35. Seleção de Intervalos do Cenário 2

Para esse cenário será demonstrado as representações do trecho 1.

6.2.1.1 Análise do Primeiro Trecho do Cenário 2 (T1)

Nesse primeiro *range* de dados escolhidos, foram analisados 926 amostras.

Ao efetuar a representação da Média Móvel, demonstrada na Figura 36, identifica-se a degradação do sinal a partir da amostra 450.

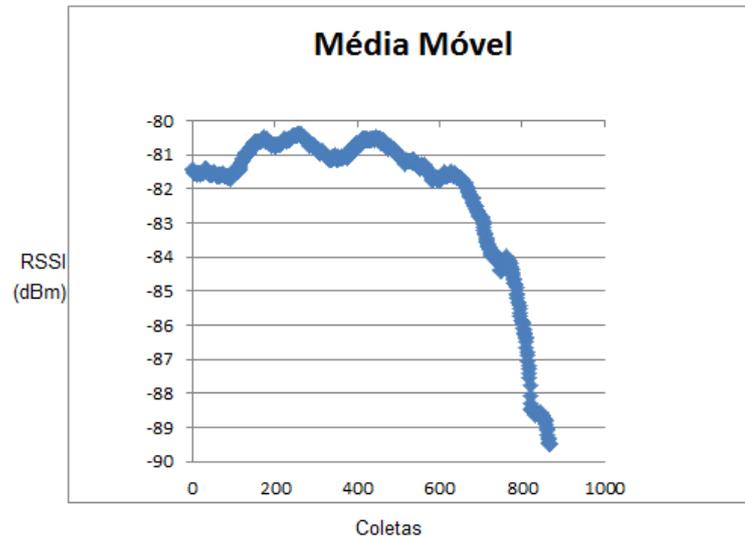


Figura 36. Média Móvel em 60s do Cenário 2 (T1)

Outros indicativos a serem considerados são o Delta, representado pela Figura 37 e o Desvio Padrão, contido na Figura 38.

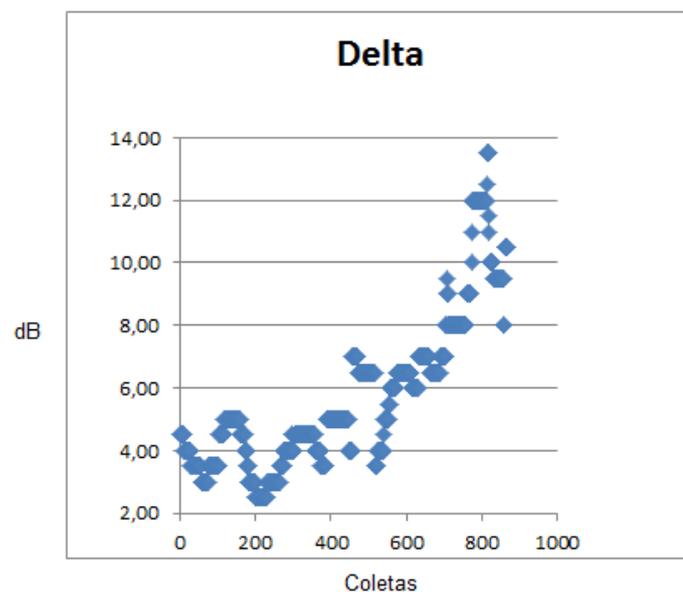


Figura 37. Delta do Cenário 2 (T1)

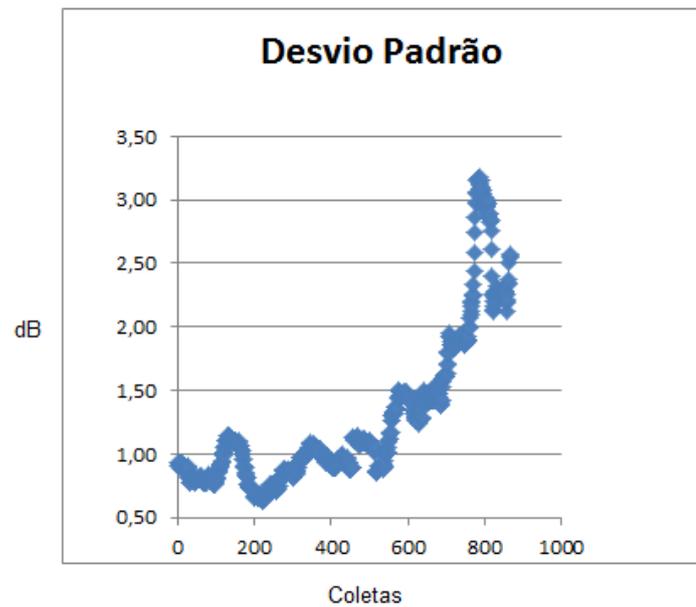


Figura 38. Desvio Padrão do Cenário 2 (T1)

O Delta e Desvio Padrão apresentam um crescimento, indicando a degradação do sinal.

Apresenta-se, na Figura 39, o histograma da RSSI por Faixa, o qual demonstra que esse trecho (T1) foi classificado como Ruim, essa classificação provém da Tabela 7.

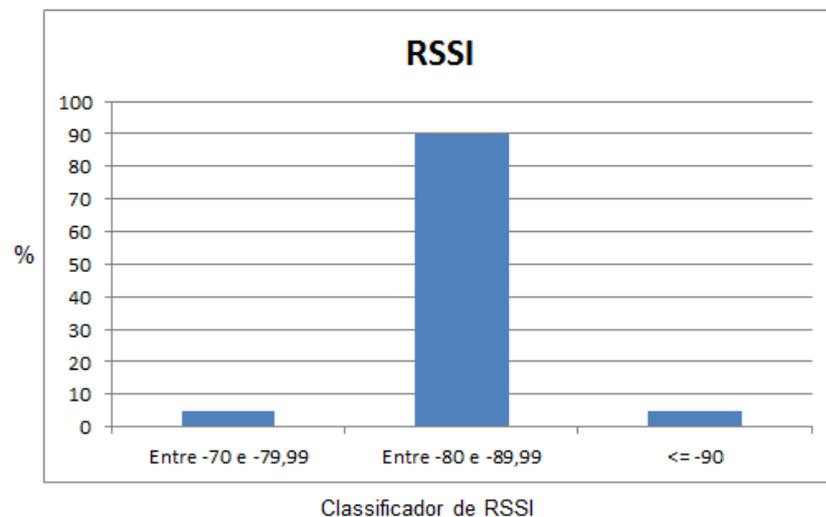


Figura 39. Classificação da RSSI do Cenário 2 (T1)

Considerando o total de coletas desse trecho, 926 amostras e o total de perdas de pacotes, 171, foi obtido 18,46% de PER, um percentual muito elevado, considerando a PER tolerável de 5%, apresentada no Capítulo 3.

6.2.2 Análise do Cenário 3

O Cenário 3 apresenta mais da metade dos dados coletados acima da média, 77,22 dBm, com alguns pontos de declínio do sinal. Por esse motivo, foram escolhidos o primeiro trecho sem grande variação de sinal e dois trechos que identificam a variabilidade do sinal. Os três trechos estão apresentados na Figura 40.

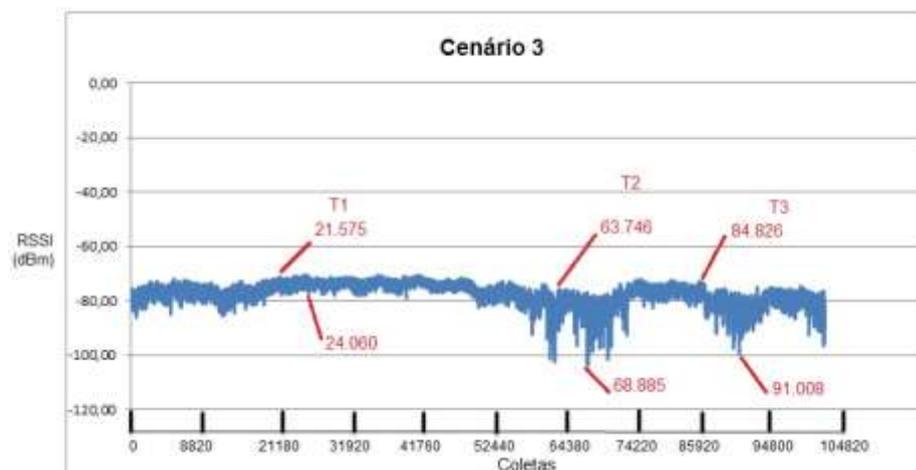


Figura 40. Seleção de Intervalos do Cenário 3

Para esse cenário será demonstrado as representações do trecho 3.

6.2.2.1 Análise do Terceiro Trecho do Cenário 3 (T3)

Serão analisadas 6.182 amostras de dados. A Média Móvel, representada na Figura 41, apresenta vários pontos de declínio e ascensão do sinal. Uma degradação do sinal relevante do sinal se apresenta na amostra 2000.

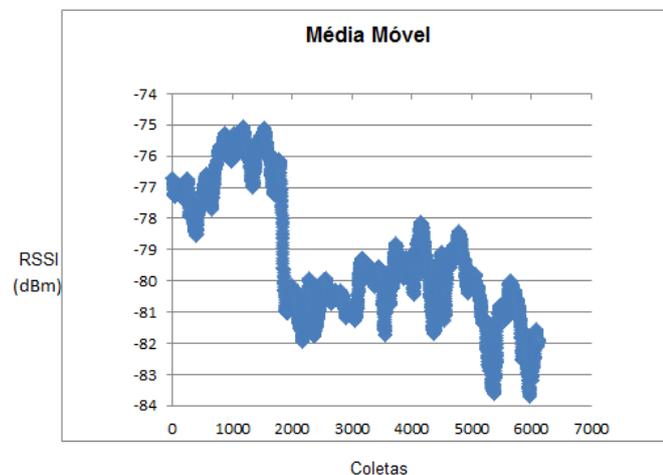


Figura 41. Média Móvel em 60s do Cenário 3 (T3)

O Delta apresenta um crescimento, indicando a degradação do sinal, como se pode ver na Figura 42.

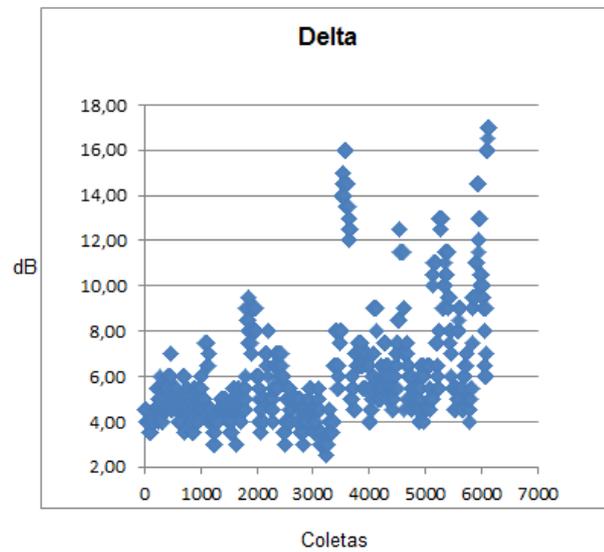


Figura 42. Delta do Cenário 3 (T3)

Na Figura 43, visualiza-se o Desvio Padrão.

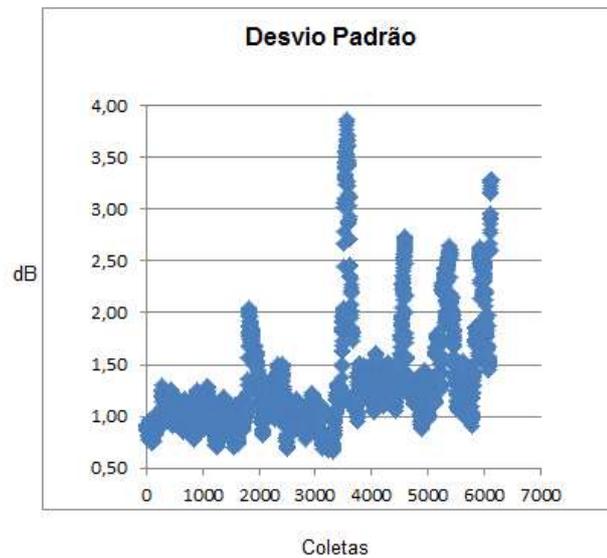


Figura 43. Desvio Padrão do Cenário 3 (T3)

A RSSI esteve concentrada nos intervalos entre -70 e -79,99 dBm, e entre -80 e -89,99 dBm, conforme apresentada na Figura 44, sendo classificado esse trecho como Regular.

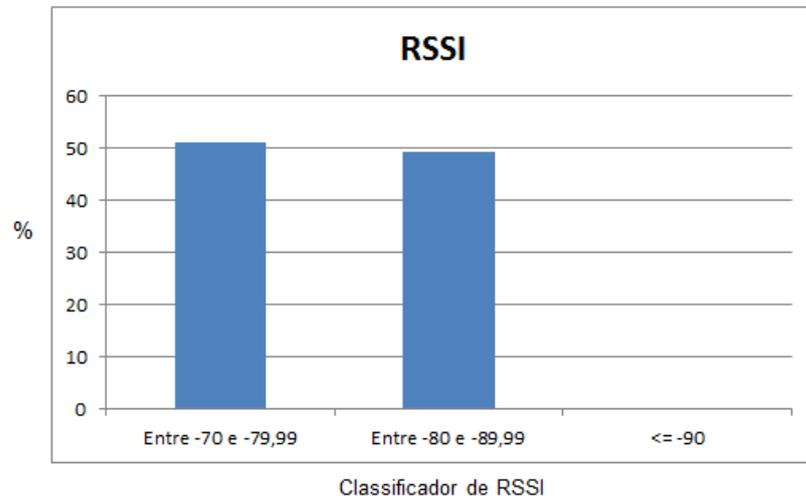


Figura 44. Classificação da RSSI do Cenário 3 (T3)

Ao considerar o total de coletas desse *range* igual a 6.182 e o total de perdas de pacotes de 361, houve 5,84% de perda de pacotes, um índice muito próximo ao tolerável.

6.2.3 Análise do Cenário 4

O Cenário 4 apresenta uma grande variação de sinal, os três trechos que serão analisados estão identificados na Figura 45.

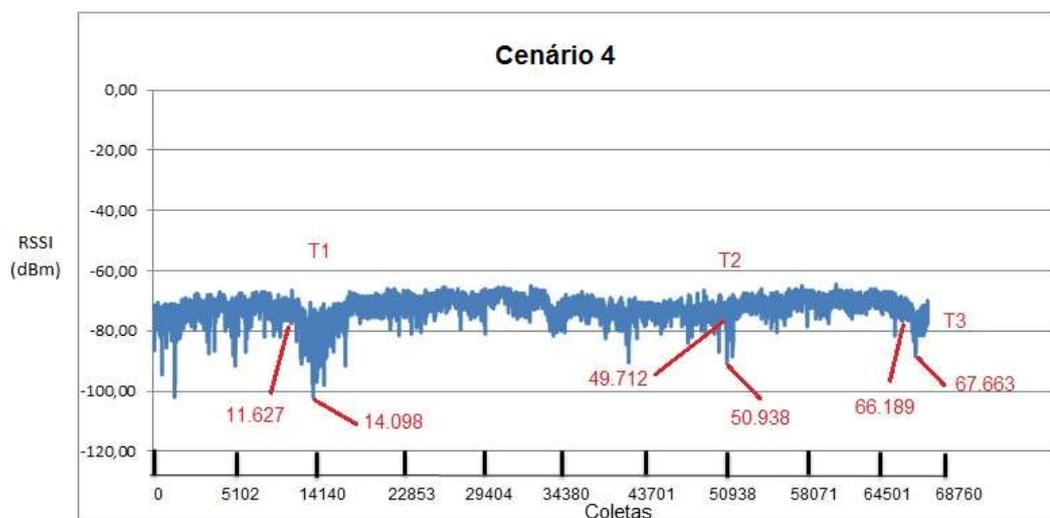


Figura 45. Seleção de Intervalos do Cenário 4

Para esse cenário será apresentado as representações do trecho 3.

6.2.3.1 Análise do Terceiro Trecho do Cenário 4 (T3)

Considerando a Média Móvel, podem-se identificar a degradação do sinal a partir da amostra 100. A Figura 46 representa a Média Móvel. Foram analisados para esse trecho 1.474 amostras de dados.

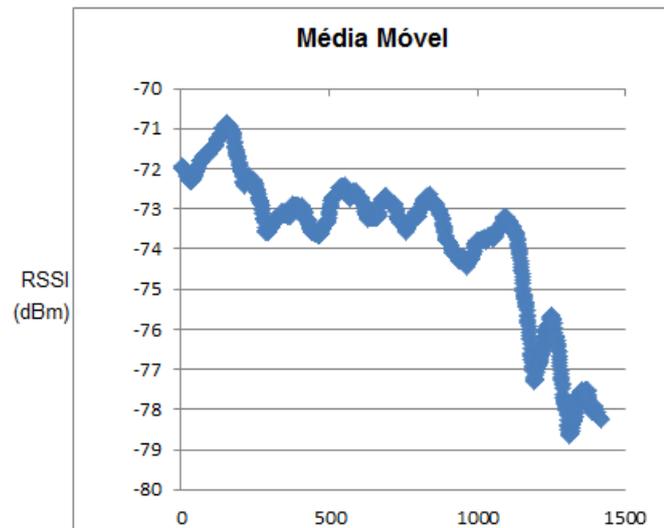


Figura 46. Média Móvel em 60s do Cenário 4 (T3)

A Figura 47 apresenta o Delta e a Figura 48 demonstra o Desvio Padrão.

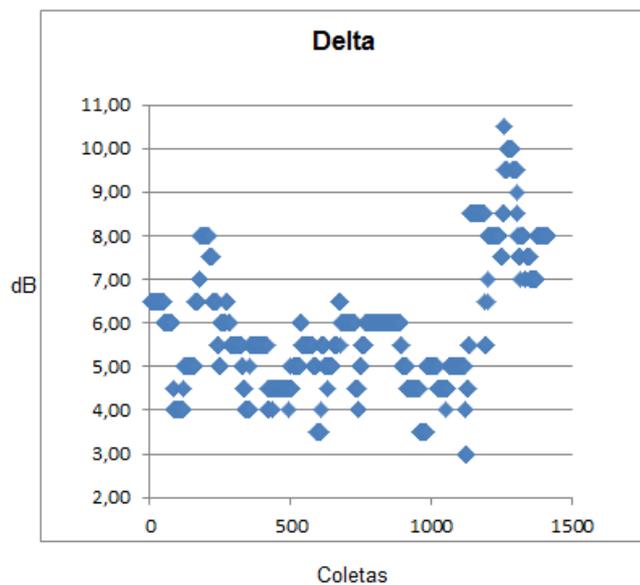


Figura 47. Delta do Cenário 4 (T3)

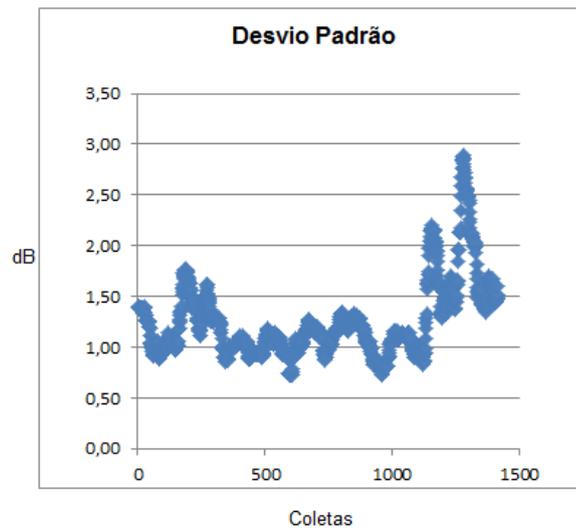


Figura 48. Desvio Padrão do Cenário 4 (T3)

O Delta e o Desvio Padrão demonstram um crescimento, sendo esse mais visível no Desvio Padrão.

O histograma apresentado na Figura 49 comprova que esse intervalo de cenário é classificado como Regular. Classificação essa, que provém da Tabela 7.

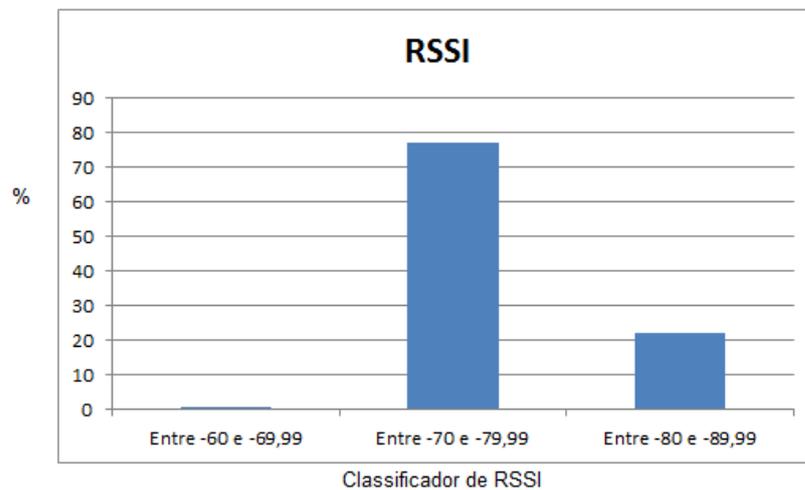


Figura 49. Classificação da RSSI do Cenário 4 (T3)

Como o total de coletas desse *range* é igual a 1474 e ocorreram 3 perdas de pacotes, houve 0,20% de PER, um percentual baixo.

6.2.4 Análise do Cenário 5

A Figura 50 apresenta os intervalos analisados nesse cenário.

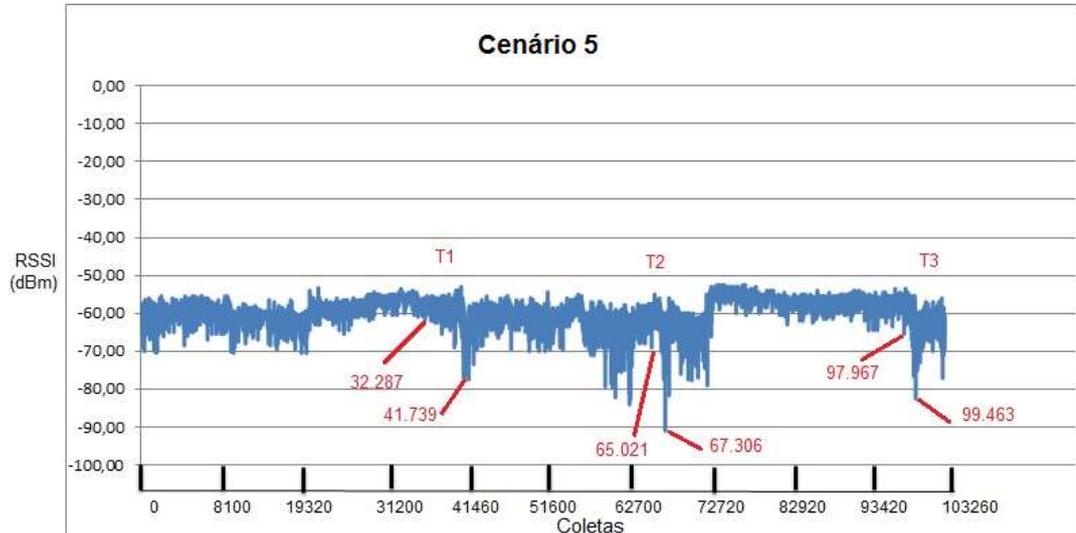


Figura 50. Seleção de Intervalos do Cenário 5

Considerando o trecho 1, serão apresentadas as representações para esse cenário.

6.2.4.1 Análise do Primeiro Trecho do Cenário 5 (T1)

Ao efetuar a representação da Média Móvel demonstrada na Figura 51, identificam-se uma grande variação de sinal, com vários pontos de ascensão e declínio do sinal. Próximo à amostra 5000, ocorreu uma degradação do sinal de forma acentuada. Foi analisado um total de 9.452 amostras.

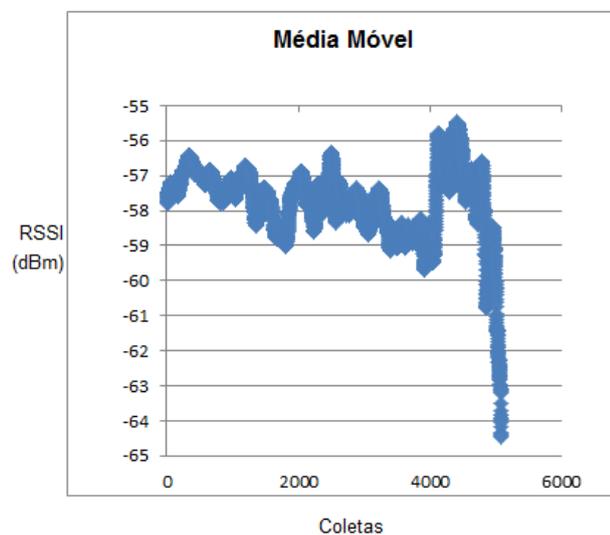


Figura 51. Média Móvel em 60s do Cenário 5 (T1)

Outros indicativos a serem considerados são o Delta, representado pela Figura 52, e o Desvio Padrão, visualizado pela Figura 53. Ambos apresentam um crescimento, indicando a degradação do sinal.

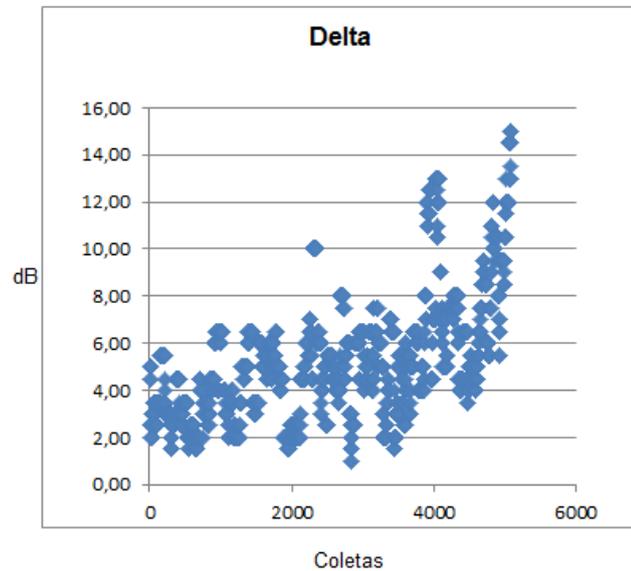


Figura 52. Delta do Cenário 5 (T1)

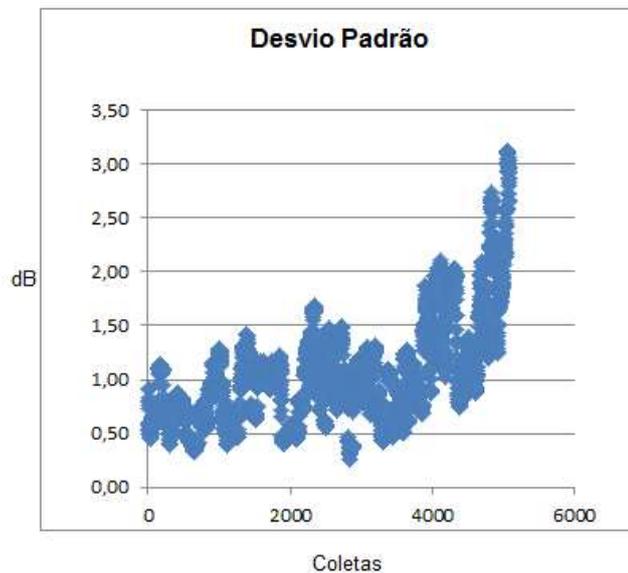


Figura 53. Desvio Padrão do Cenário 5 (T1)

A Figura 54 apresenta o histograma, representando ser esse trecho classificado como Ótimo.

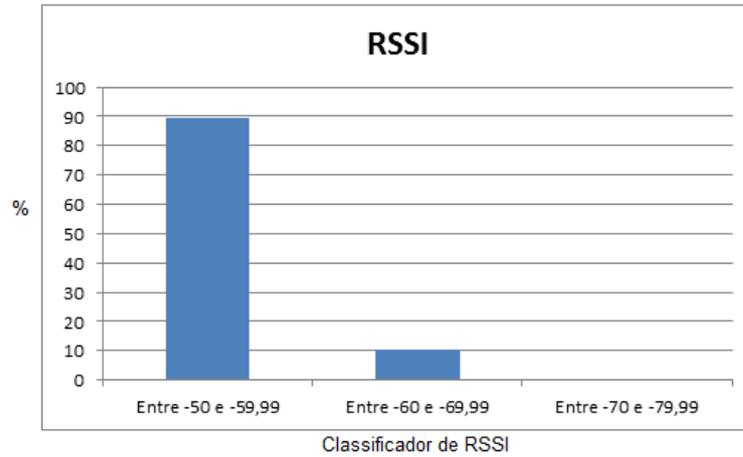


Figura 54. Classificação da RSSI do Cenário 5 (T1)

Ao considerar o total de coletas desse *range* igual a 9452 e o total de perdas de pacotes de 8, houve 0,08% de perda de pacotes, um percentual muito pequeno.

6.2.5 Análise do Cenário 7

Para esse cenário, o método será demonstrado em três trechos, identificados pela Figura 55.

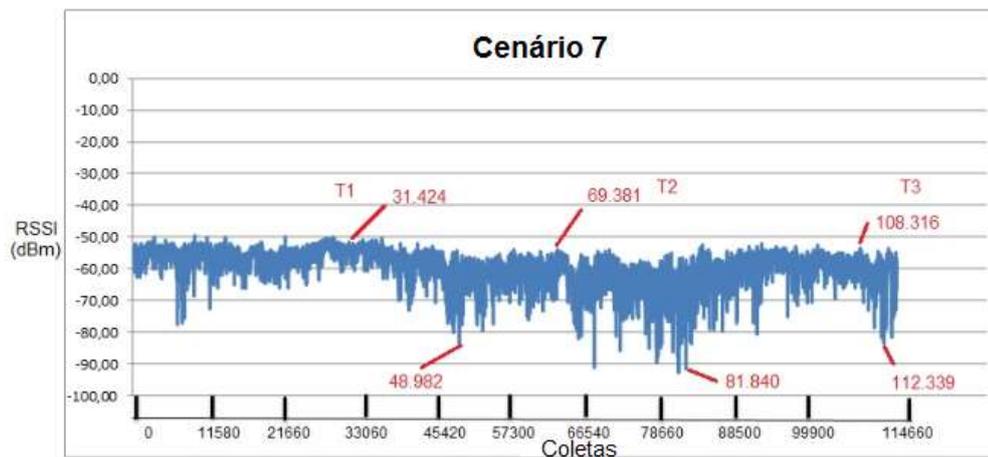


Figura 55. Seleção de Intervalos do Cenário 7 (T3)

Para esse cenário será apresentado as representações do trecho 3.

6.2.5.1 Análise do Terceiro Trecho do Cenário 7 (T3)

Ao efetuar a representação da Média Móvel, demonstrada na Figura 56, identificam-se uma degradação do sinal acentuada na amostra 3000. Foram consideradas para esse trecho 4.023 amostras.

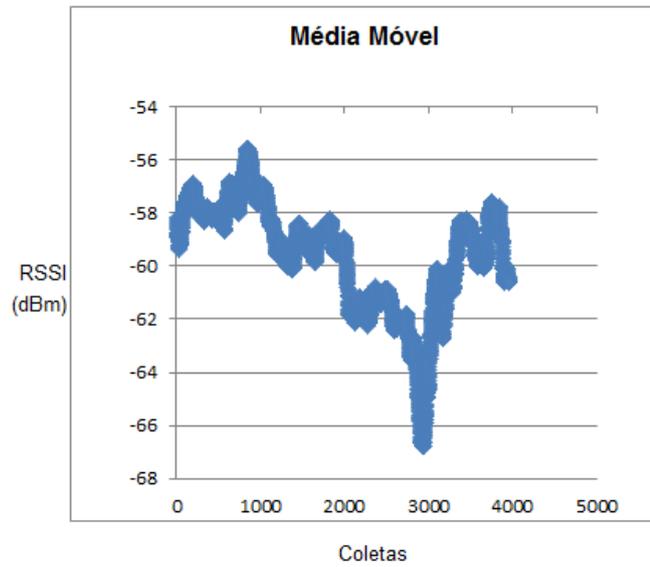


Figura 56. Média Móvel em 60s do Cenário 7 (T3)

Outros indicativos a serem considerados para identificar a degradação do sinal é o Delta, representado pela Figura 57, e o Desvio Padrão, apresentado na Figura 58.

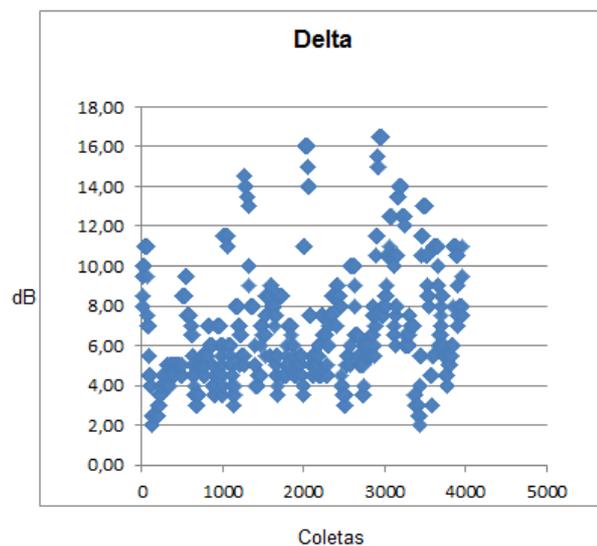


Figura 57. Delta do Cenário 7 (T3)

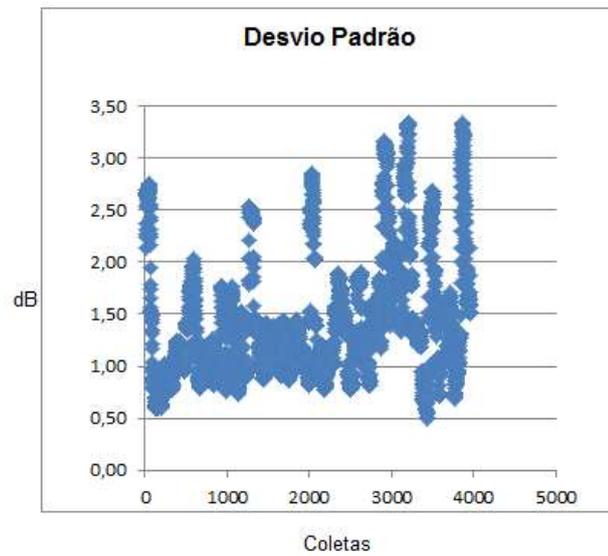


Figura 58. Desvio Padrão do Cenário 7 (T3)

Apesar do espalhamento do sinal, demonstrado tanto no Delta, como no Desvio Padrão, houve degradação do sinal, em função do crescimento apresentado.

A Figura 59 apresenta a classificação da RSSI como Ótima para esse trecho do cenário.

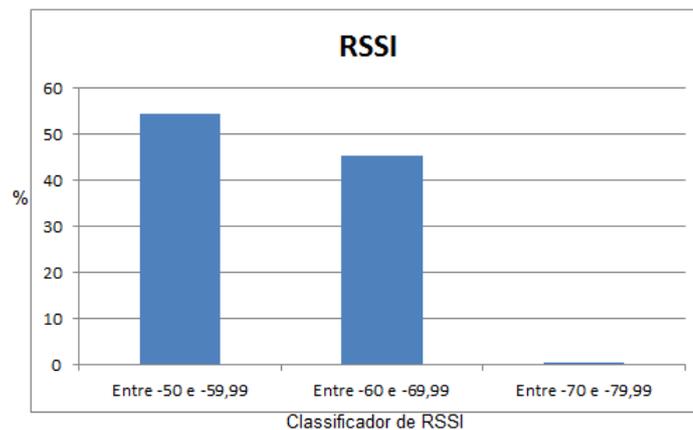


Figura 59. Classificação da RSSI no Cenário 7 (T3)

Ao considerar o total de coletas desse *range* igual a 4.023 e o total de perdas de pacotes de 10, houve 0,25% de PER, um índice bem inferior, considerando 5% para ambiente industrial.

6.3 Considerações

Nesse capítulo é importante identificar as semelhanças e diferenças encontradas entre os cinco cenários que tiveram suas representações demonstradas nesse capítulo. Para a realização dessa atividade, iremos considerar 4 parâmetros:

- 1) Caracterização dos Cenários
- 2) Análise estatística
- 3) O Comportamento da Intensidade do Sinal
- 4) Peculiaridades de cada cenário

Quando buscamos caracterizar os cenários, é importante analisar a Tabela 5, apresentada no capítulo 6. E ao analisar essa tabela encontramos algumas semelhanças entre os cenários, sendo elas:

- A) Nenhum dos cenários apresentou linha de visada entre o nó sensor e a base.
- B) Em todos os cenários existe o tráfego de pessoas e empilhadeiras.
- C) Apenas em um cenário não existe a presença de prensas entre o nó sensor e a base.
- D) Em um cenário existe a presença de painel elétrico entre o nó sensor e a base.
- E) Dois cenários existem a presença de fornos entre o nó sensor e a base.

À análise estatística pode ser feita considerando a Tabela 6, contida no Capítulo 6. Analisando essa tabela encontramos uma semelhança interessante, sendo ela:

A partir do crescimento das distâncias, os valores das médias, dos valores máximos e do Delta vão diminuindo.

Em relação ao comportamento do sinal, podemos visualizar os mesmos no Capítulo 5, e a partir dessa observação concluímos que em todos os cenários ocorrem ascensões e declínios de sinal, em alguns cenários de forma mais acentuada, como por exemplo o cenário 2.

Quando analisamos as representações de Média Móvel, contidas nesse capítulo, identificamos mais alguns detalhes em relação à variação do sinal, conforme visualiza-se na Tabela 11.

Tabela 11. Análise das Médias Móveis representadas no Capítulo 6

Cenário	Distância	Comportamento do Sinal
2	95m	Ascensões de Declínios significativos do sinal em todo o período.
3	70m	Ascensões de Declínios significativos do sinal. As primeiras 24H o sinal se apresentou estável e nas 24H seguintes ocorreu uma grande variação do sinal.
4	50m	Algumas ascensões do sinal, mais a trajetória do sinal identifica um declínio evidente ao longo do período.
5	30m	Ascensões de Declínios significativos do sinal, indicando uma queda considerável no final da coleta.
7	15m	Ascensões de Declínios significativos do sinal, uma queda considerável ocorreu no meio da coleta.

Sobre as peculiaridades de cada cenário, as mesmas podem ser encontradas com detalhes no Capítulo 4, estando descritas na Tabela 12.

Tabela 12. Peculiaridades dos Cenários

Cenário	Distância	Particularidades dos Cenários
2	95m	Esse cenário apresenta a maior distância, sendo grande fluxo de pessoa e empilhadeiras, além da grande quantidade tde de equipamentos fabris entre o nó sensor e a base.
3	70m	O nó sensor foi inserido em uma célula produtiva, havendo um grande tráfego de empilhadeiras e colaboradores.
4	50m	O nó sensor ficou posicionado na junção de dois corredores, existindo um alto tráfego de pessoas e empilhadeiras.
5	30m	O nó sensor foi inserido próximo a uma estrutura metálica.
7	15m	O nó sensor ficou posicionada ao lado de uma bancada onde os operadores efetuam lançamentos, existindo assim, um grande fluxo de pessoas próximo a ele. E entre o nó sensor e a base existe um corredor, onde o fluxo de pessoas e empilhadeiras é intenso.

A descrição das particularidades de cada cenário é importante para supormos, que essa, sejam as responsáveis pela variação da intensidade do sinal.

Em relação a variação da intensidade de sinal, elas foram de 9 dB nos cenários: 2, 3 e 5. De 8 dB no cenário 4 e de 12,5 dB no cenário 7. Se apresentando de maneira uniforme em 4 dos 5 cenários.

Para finalizar esse capítulo, é importante ressaltar algumas considerações em relação ao método de análise proposto.

Em relação a escolha das janela de 60s e 120s, com o objetivo de identificar a degradação do sinal, em todos os cenários, esta ocorreu mais rápido nas janelas de 60s.

O Delta e o Desvio Padrão demonstraram um crescimento, identificando a degradação do sinal.

Pode-se, assim, sugerir como uma estratégia de análise do comportamento do sinal que, se a Média Móvel apresentar queda e o Delta e Desvio Padrão começarem a crescer, caracteriza-se a degradação do sinal, sendo necessária a tomada de decisão. A partir do momento em que a degradação do sinal é identificada, o Sistema de Gerência deve ser avisado.

Nos trechos de cenários analisados, pôde-se verificar que, com o método de análise proposto, a partir de janelas móveis, com a execução da *Running Statistic*, foi possível identificar a degradação do sinal.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

7.1 Conclusão

O propósito do trabalho foi efetuar a coleta de dados no ambiente industrial, caracterizando-a, a fim de sugerir um método de análise que identifique a degradação do sinal.

Ao iniciar da coleta de dados, imaginava-se que ocorreriam padrões de repetição do sinal, a partir da dinâmica do ambiente, tais como, troca de turnos, horário de refeições, fluxo de pessoas e empilhadeiras e proximidade dos componentes fabris e que a partir dessa dinâmica seria possível identificar a razão que causou cada degradação de sinal, em cada um dos pontos ocorridos, mais isso não foi possível.

Em função dessa impossibilidade, em alguns cenários foi efetuada a sugestão que a variação do sinal pudesse ter ocorrido em função de um fator evidente naquele cenário, mais sem realizar nenhuma afirmação efetiva. Após essa constatação, a sugestão do método para a identificação da variação da intensidade de sinal, se torna necessário.

Outro fator relevante dessa dissertação é a base de dados, amostras de RSSIs obtidas durante todo o processo de coleta. Essa base pode ser utilizada como métrica para a implementação de RSSF em ambientes industriais. Considerando, a distância entre os nós sensores, a existência ou não de linha de visada, a existência ou não de elementos fabris e a existência ou não do tráfego de pessoas e empilhadeiras é possível identificar qual combinação desses fatores contribuem para a degradação do sinal.

7.2 Trabalhos Futuros

Uma proposta de grande valia para trabalhos futuros seria utilizar os resultados obtidos nesta Dissertação, de modo a estabelecer uma relação entre esses resultados e a Tabela da ISA 100.11 a (ISA, 2012; YAMAMOTO, 2010).

REFERÊNCIAS

- AKYILDIZ, I. F.; SU, W.; SANKARASUBRAMANIAM, Y; GAYIRCI, E. **Wireless Sensor Networks: a Survey**. Broadband and Wireless Networking Laboratory, School of Electrical and Computer Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA 30332, USA. dez. 2001.
- ASSUMPÇÃO, R. M. **Avaliação do Impacto em Rede de Sensores Sem Fio com Utilização de Sistemas de Rádio sobre Fibra**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2011.
- BOURKE, T. ISA100.11a Completely Obviates the Need for WirelessHART. **Petro Industry News**, St Albans, v. 9, n. 5, p. 18-19, out. 2007.
- CHANG, K.; MASON, B. The IEEE 802.15.4g Standard for Smart Metering Utility Networks. In: IEEE SMART GRID COMMUNICATIONS, de 05 a 08 de novembro de 2015.
- CUI, L.; TSO, F. P.; YAO, D.; JIA, W. WeFiLab: A Web-Based WiFi Laboratory Platform for Wireless Networking Education. **IEEE Transactions on Learning Technologies**, v. 5, n. 4, p. 291 - 303, out./dez. 2012.
- FORNO, 2015. Disponível em: <www.combustol.com.br/combustol.php?cod=12>. Acesso em 10 maio 2015.
- FREITAS, L. C.; BRAMATTI, N.; CAVALCANTE, A. M.; COSTA, J. C. W. A.; FRANCÊS, R. Redes de Sensores Sem Fio em Ambientes Industriais: Estudo de Caso em uma Subestação de Energia Elétrica. In: XXV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TELECOMUNICAÇÕES – SBRT 2007, 03 a 06 de setembro 2007, Recife, PE.
- FRIEDMANN, L.; BOUKHATEM, L. Efficient Multi-Sink Relocation in Wireless Sensor Network. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON NETWORKING AND SERVICES (ICNS), 2007.
- GARAY, J. R. B.; KOFUJI, S. T. Uma Abordagem às Camadas Físicas e de Rede das Bandas ISM 915MHz e 2.4GHz: Um Estudo de Qualidade para sua Aplicação Numa Rede de Sensores Sem Fio. In: 6TH IBERO-AMERICAN CONGRESS ON SENSORS, 2008, São Paulo.
- GOMES, R. D.; ALENCAR, M. S.; FONSECA, I. E.; LIMA, A. C. Desafios de Redes de Sensores sem Fio Industriais. **Revista de Tecnologia da Informação e Comunicação**, v.4, n. 1, p. 1-12, jul. 2014.

ISA. **Control Over Wireless: Current Applications and Future Opportunities**, ISA Automation, 2012. Disponível em: <www.isa100wci.org>. Acesso em: 20 fev. 2015.

ITU INTERNET REPORTS 2005. The Internet of Things. International Telecommunication Union (ITU), nov. 2005. Disponível em: <www.itu.int/internetofthings>. Acesso em: 08 fev. 2015.

LOUREIRO, A. A. F.; NOGUEIRA, J. M. S.; RUIZ, L. B.; MINI, R. A. F.; NAKAMURA, E. F.; FIGUEIREDO, C. M. S. Redes de Sensores sem Fio, Departamento de Ciência da Computação, Universidade Federal de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO DE REDES DE COMPUTADORES. *Minicurso...* mar. 2003, Natal-RN.

LUQUETA, G. R.; BRANQUINHO, O. C.; BIANCHINI, D. Caracterização da propagação de redes de sensores sem fio em ambientes industriais utilizando a RSSI como parâmetro de avaliação. In: 15º SBMO – SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICRO-ONDAS E OPTOELETRÔNICA, MOMAG, 2012.

MAGALHÃES, H. V.; LUGLI, A. B. **Rede Sem Fio para Automação Industrial: Estudo e Aplicação**. São Paulo: Érica, 2013.

MAHLE, 2014. Disponível em: <www.mahle.com/mahle/en/about-mahle/locations/1019.jsp>. Acesso em: 22 out. 2014.

MIKHAYLOV, K.; TERVONEN, J.; HEIKKILÄ, J.; KÄNSÄKOSKI J. **Wireless Sensor Networks in Industrial Environment: Real-Life Evaluation Results**. In: FUTURE INTERNET COMMUNICATIONS (BCFIC), 2012.

PALETE, 2015. Disponível em: <<http://pt.depositphotos.com/14616211/stock-photo-yellow-fork-lift-truck-with.html>>. Acesso em: 10 maio 2015.

PRENSA, 2015. Disponível em: <[www://img.directindustry.com/images_di/photo-g/hydraulic-press-double-action-27948-2860323.jpg](http://img.directindustry.com/images_di/photo-g/hydraulic-press-double-action-27948-2860323.jpg)>. Acesso em: 10 maio 2015.

RADIUINO, 2014. Disponível em: <<http://radiuino.cc>>. Acesso em 10 nov. 2013.

RAY, A.; AKERBERG, J.; GIDLUND, M.; BJÖRKMAN, M. Initial Key Distribution for Industrial Wireless Sensor Networks. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL TECHNOLOGY (ICIT), 2013.

RODRIGUES, J. H. L.; CUGNASCA, C. E. Modelo para a Rastreabilidade do Açúcar Utilizando identificação por Rádio Frequência, Rede de Sensores sem Fio e Internet das Coisas, ANPET. In: XXVIII CONGRESSO DE PESQUISA DE TRANSPORTES, 24 a 28 de novembro de 2014, Curitiba-PR.

SANTOS, I. M.; DOTA, M. A.; CUGNASCA, C. E. Visão Geral da Aplicabilidade de Redes de Sensores sem Fio no Monitoramento Agrícola no Estado de Mato Grosso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO – CONBAP 2010, 27 a 29 de setembro de 2010, Ribeirão Preto-SP, Brasil.

SEIDEL, C.; FERREIRA, F. M.; OLIVEIRA, E. C. Aplicação de Redes de Sensores sem Fio (RSSFs) para Engenharia Ambiental. Unigranrio – Universidade do Grande Rio. Duque de Caxias, Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <www.ic.uff.br/~eoliveira/Publicacoes/ICECE_07b.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2015.

SMITH, S. W. **The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing**. California: Technical Publishing, 1997.

STALLINGS, W. **SNMP, SNMPv2, SNMPv3 and RMON1 and 2**. Londres: Addison-Wesley, 1999.

TASLIDERE, E.; COHEN, F. S.; REISMAN, F. K. Wireless Sensor Networks – A Hands-On Modular Experiments Platform for Enhanced Pedagogical Learning. **IEEE Transactions on Education**, v. 54, n. 1, p. 25-33, fev. 2011.

WANG, G.; ZHANG, J.; LI, W.; CUI, D.; JING, Y. A Forest Fire Monitoring System Based on GPRS and ZigBee Wireless Sensor Network. In: IEEE CONFERENCE ON INDUSTRIAL ELECTRONICS AND APPLICATION (ICIEA), jun. 2010.

YAMAMOTO, S.; MAEDA, N.; MAKOTO, T.; MASAOKI, Y. World's First Wireless Field Instruments Based on ISA100.11a. **Yokogawa Technical Report English Edition**, v. 53, n. 2, p. 75-78, 2010.

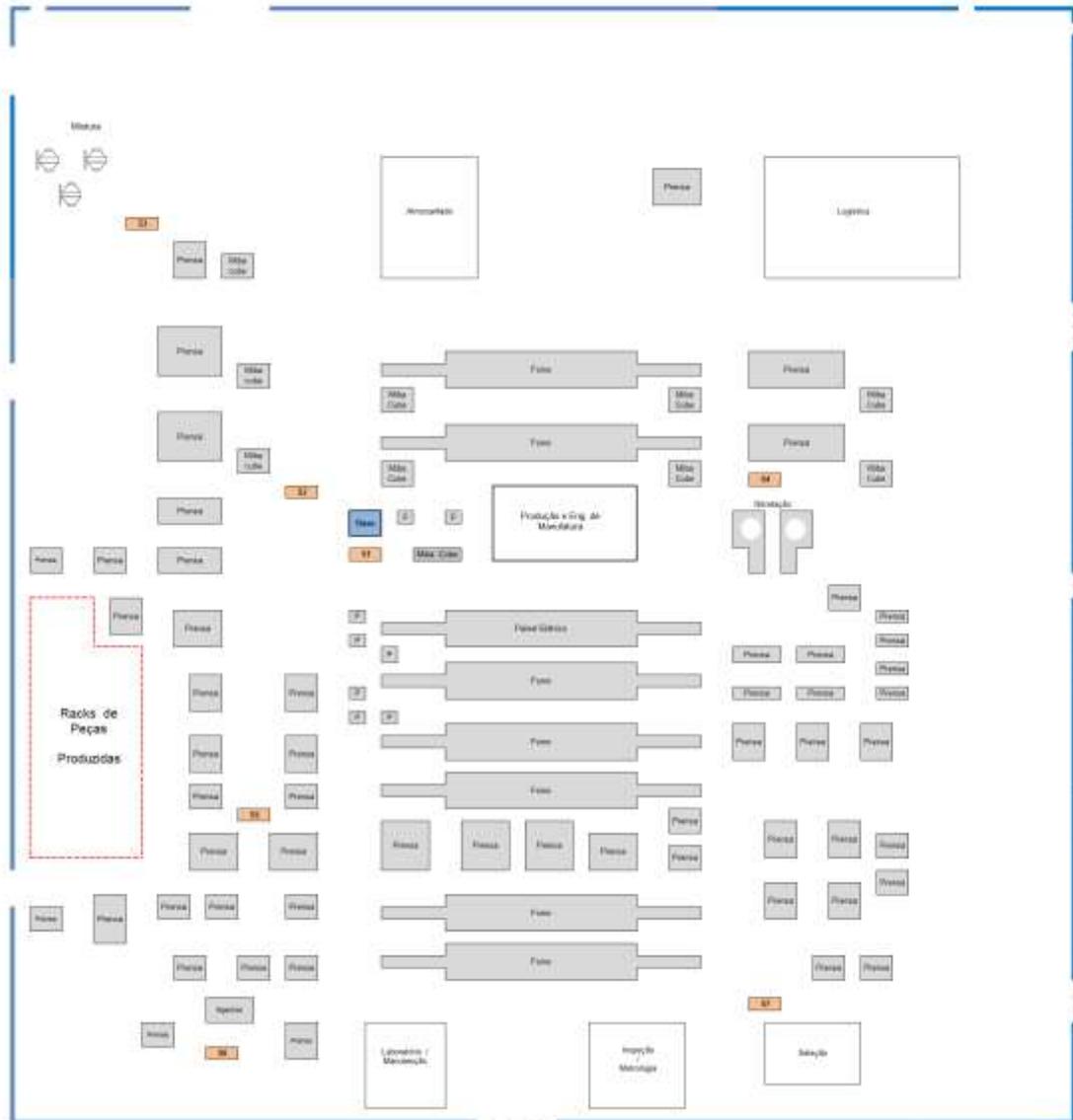
ZINONOS, Z.; VASSILIOU V.; CHRISTOFIDES, T. Radio Propagation in Industrial Wireless Sensor Network Environments: From Testbed to Simulation Evaluation. **MSWiM**, p. 125-132, out. 2012.

9 ANEXO

9.1 ANEXO A – Autorização da MMLMS para a execução do experimento



9.2 ANEXO B – Planta Baixa da Fábrica



10 APÊNDICE

10.1 Apêndice I – Arquivo PDF do Rádio BE 900

DATASHEET – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

BE900 – Módulo de comunicação sem fio

BE900

□ MÓDULO SEM FIO. DE VERDADE.

O BE900 é um módulo com microcontrolador e transceptor integrados, que possibilita aplicações de monitoração e controle, podendo ser totalmente programado.

O BE900 é um módulo de comunicação extremamente flexível que utiliza o processador AVR Atmega328 e o transceptor TI CC1101 RF com filtro passa-faixa para maior sensibilidade e imunidade a interferência a ruído, ajustado para operar na banda não licenciada ISM de 915MHz (902 até 928 MHz).

O módulo possui modos de operação com baixo consumo de potência e um relógio de tempo real (RTC) baseado em cristal de 32kHz.

Atende à regulamentação ANATEL e FCC (para maiores informações: www.spreadcom.com.br).



Modelos:

- Monopólo
- SMA Reto
- SMA 90°

Especificações técnicas

RF	
Frequência de Operação	902-907,5MHz e 915- 928MHz
Modulação	2FSK (Configurável)
Tecnologia	Modulação Digital
Taxa de dados do RF	Até 250kbps
Potência de TX	Até +10dBm
Sensibilidade RX	Até -112dBm (com ~1% de PER)
Alcance Indoor	Até 100m
Alcance Outdoor	Até 500m
Regulamentação	FCC, Anatel, Australia

Placa	
Dimensões	24,4mm x 32mm x 10,5mm
Número de Pinos	20
Espaçamento dos pinos	2mm
Conector de RF (Opcional)	SMA Reto ou SMA 90°
Pinos de E/S	E/S digitais, UART, I2C, SPI, ADC, PWM

Microcontrolador	
Memória	32kB Flash, 2kB RAM, 1kB EEPROM
Clock da CPU	8MHz
RTC (Relógio de tempo real)	32768kHz (+/- 10ppm)
Conversores AD	Até 7 canais de 10 bits
Saídas PWM	2
Entradas/Saídas Digitais	Até 14 entradas ou saídas

"Este equipamento opera em caráter secundário, isto é, não tem direito à proteção contra interferência prejudicial, mesmo de estações do mesmo tipo, e não pode causar interferência a sistemas operando em caráter primário."

Radioit Eletrônica LTDA
Campinas-SP
Tel: +55 19 32012489
www.radioit.com.br

Data: 26/11/2012 – Versão: 1.5

Copyright - Todos os direitos reservados - Radioit Eletrônica LTDA

Características:

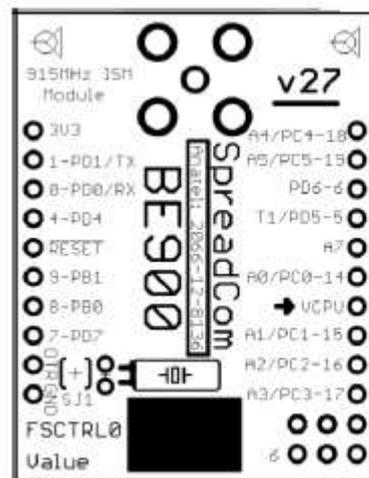
- **IDE Arduino:** o BE900 pode ser programado utilizando a IDE Arduino e usufruir da maioria dos software e bibliotecas desenvolvidos para esta plataforma;
- **E/S do Arduino:** os 15 pinos de E/S disponíveis podem ser mapeados como pinos Arduino;
- **Microcontrolador:** AVR Atmega 328, microcontrolador de 8 bits com alto desempenho e baixo consumo, com 32k de ROM, 2k de RAM, 1k de EEPROM e clock de 8MHz (mais informações: www.atmel.com);
- **Comunicação sem fio:** o módulo possui um TI CC1101, transceptor de RF em um único chip para bandas não-licenciadas ISM com filtro passa-faixa para maior sensibilidade e menor interferência de ruídos, ajustado para operar na banda de 915MHz (902-907,5MHz e 915-928MHz). A placa possibilita a soldagem de um conector SMA para uso profissional;
- **Refinamento do RF:** Todos os módulos passam por um processo de calibração de fábrica para o correto ajuste do deslocamento de frequência do circuito de RF. O valor do ajuste é informado ao usuário em cada módulo e deve ser utilizado para melhorar a qualidade de comunicação;
- **Flexibilidade de programação:** Apesar de poder ser programado via Arduino, o módulo também pode ser programado utilizando a interface AVR, com a vantagem de já ter o transceptor embarcado.

Especificações Elétricas	Min.	Tip.	Max	Un.
Tensão de Entrada	3.0	3.3	3.6	V _{DC}
Corrente de transmissão		34.5		mA
Corrente de recepção		18.1		mA
Corrente de inatividade		5.2		mA
Corrente de dormência		<0.3		mA
Temperatura de operação	-50		125	°C

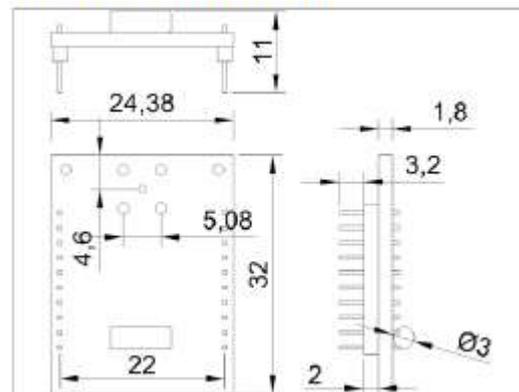
Pinagem ISP (In-System Programming):

Pino	Função	Tipo	Função no ATmega328	Pino do Arduino
1	MISO	Entrada/Saída	MISO (SPI Bus Master Input/Slave Output), PCINT4	12 (DIO)
2	SCK	Entrada/Saída	SCK (SPI Bus Master clock Input), PCINT5	13 (DIO)
3	RESET	Entrada	Pino de Reset	-
4	GND	Terra	Terra	-
5	MOSI	Entrada/Saída	MOSI (SPI Bus Master Output/Slave Input), OC2A (Saída da Comparação A do Timer/Counter2), PCINT3	11 (DIO)
6	3V3	Entrada alim.	VCC (3.3V)	-

Notas: 1)PCINTxx (Interrupção xx do Pino)



Dimensões (em mm):



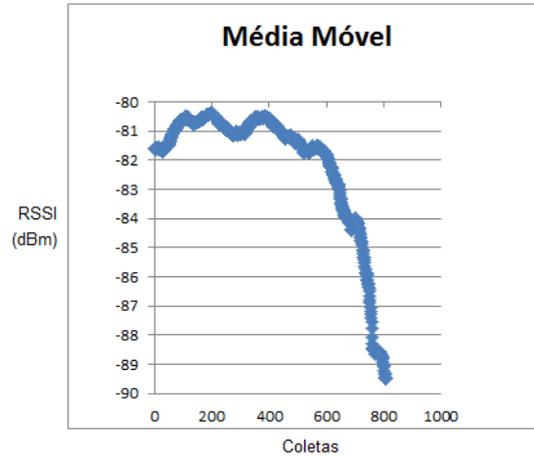
Pinagem do módulo:

Pino	Nome	Tipo	Função no ATmega328	Pino do Arduino
1	3V3	Entrada alim.	VCC (3.3V)	-
2	PD1/TX	Entrada/Saída	TXD (Pino de saída da USART), PCINT17	1(E/S digital)
3	PD0/RX	Entrada/Saída	RXD (Pino de entrada da USART), PCINT18	0(E/S digital)
4	PD4/T0	Entrada/Saída	XCK (Clock externo da USART), T0 (Entrada externa do Timer/Counter 0), PCINT20	4(E/S digital)
5	/RESET	Entrada	Pino de reset	-
6	PB1/OC1A	Entrada/Saída	OC1A (Saída da Comparação A do Timer/Counter1), PCINT1	9(E/S digital)
7	PB0/ICP1	Entrada/Saída	ICP1 (Entrada de captura do Timer/Counter1), CLKO (Saída do clock do sistema), PCINT0	8(E/S digital)
8	PD7/AIN1	Entrada/Saída	AIN1 (Entrada negativa do comparador analógico), PCINT23	7(E/S digital)
9	DTR	Entrada	Para a programação do ATmega328	-
10	GND	Terra	Terra	-
11	A3/PC3	Entrada/Saída	ADC3, PCINT11	3(Entrada Analógica)/ 17(E/S digital)
12	A2/PC2	Entrada/Saída	ADC2, PCINT10	2(Entrada Analógica)/ 16(E/S digital)
13	A1/PC1	Entrada/Saída	ADC1, PCINT9	1(Entrada Analógica)/ 15(E/S digital)
14	VREF	Entrada/Saída	Referência da voltagem do ADC(AREF)	-
15	A0/PC0	Entrada/Saída	ADC0, PCINT8	0(Entrada Analógica)/ 14(E/S digital)
16	A7	Entrada	ADC7	7(Entrada Analógica)
17	T1/PD5	Entrada/Saída	T1 (Entrada externa do Timer/Counter 1), OC0B (Saída da Comparação B do Timer/Counter0), PCINT21	5(E/S digital)
18	AIN0/PD6	Entrada/Saída	AIN0 (Entrada positiva do comparador analógico), OC0A (Saída da Comparação A do Timer/Counter0), PCINT22	6(E/S digital)
19	A5/PC5	Entrada/Saída	ADC5 (Entrada do ADC canal 5), SCL (linha de clock do barramento serial), PCINT13	5(Entrada Analógica)/ 19(E/S digital)
20	A4/PC4	Entrada/Saída	ADC4 (Entrada do ADC canal 4), SDA (linha de dados do barramento serial), PCINT12	4(Entrada Analógica)/ 18(E/S digital)

Notas: 1) PCINTxx (Interrupção xx do Pino); 2)ADCx (Canal x de entrada do ADC)

10.2 Apêndice II – Complemento da Análise dos Cenários

Análise do Primeiro Trecho do Cenário 2 (T1)

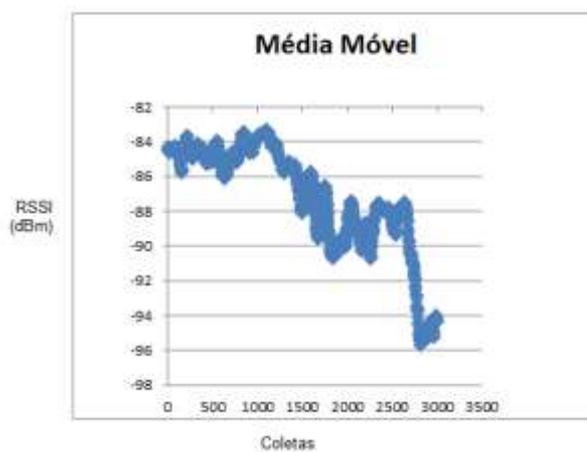


Média Móvel em 120s do Cenário 1 (T1)

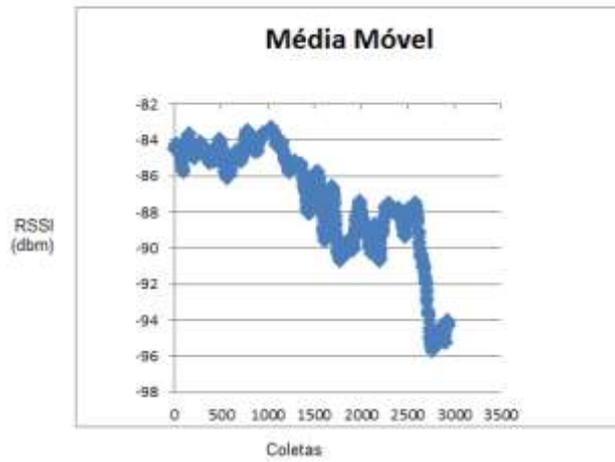
Análise do Segundo Trecho do Cenário 2 (T2)

Nesse *range* de dados escolhidos, foram analisados 5.354 dados coletados.

A representação da Média Móvel é demonstrada para 60s e para 120s. Podem-se identificar a degradação do sinal a partir da amostra 1.062.

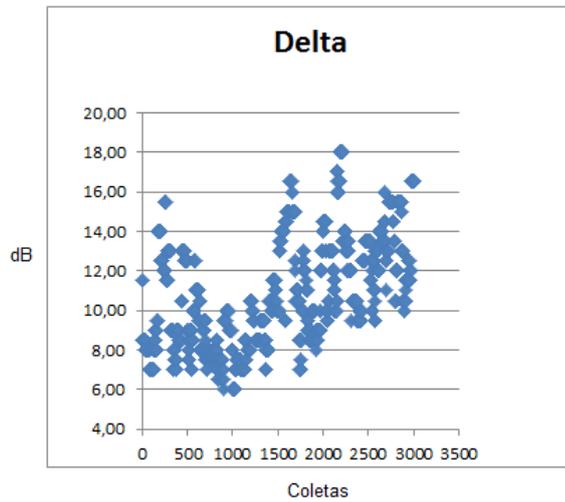


Média Móvel em 60s do Cenário 2 (T2)

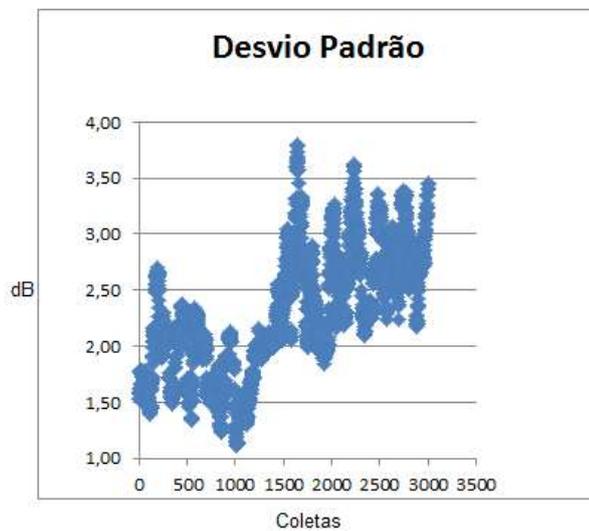


Média Móvel em 120s do Cenário 2 (T2)

Para a janela de 60s será demonstrado o Delta e o Desvio Padrão.

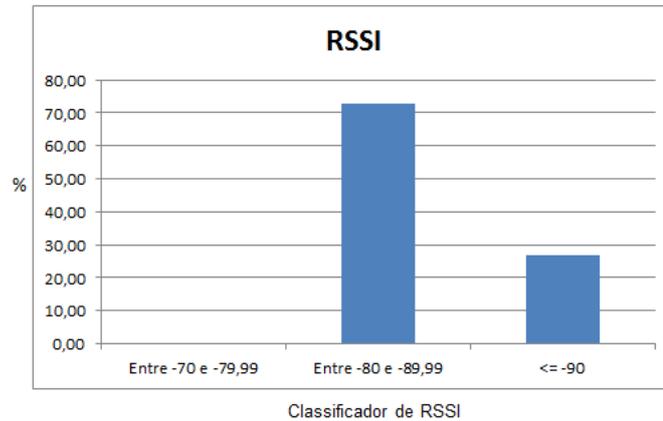


Delta do Cenário 2 (T2)



Desvio Padrão do Cenário 2 (T2)

O histograma demonstra a classificação desse trecho.



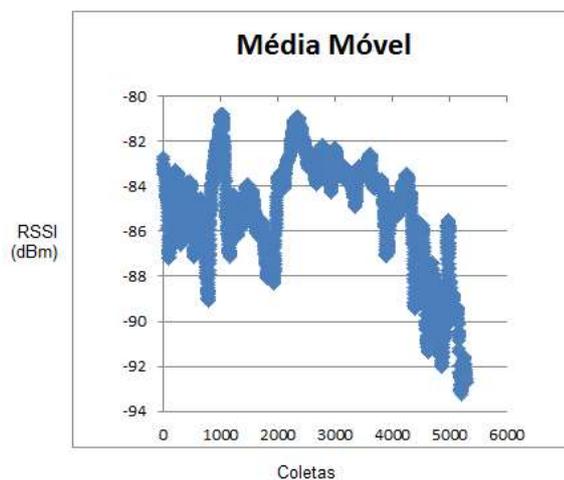
Classificação da RSSI do Cenário 2 (T2)

Considerando o total de coletas desse *range*, 5.354, e o total de perdas de pacotes, 638, houve 11,92% de perda de pacotes, um índice elevado.

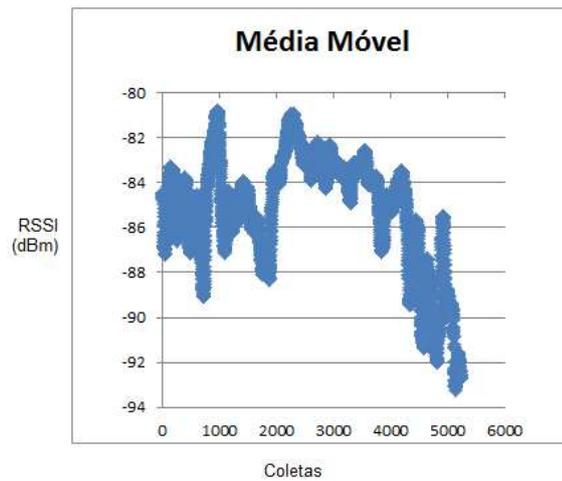
Análise do Terceiro Trecho do Cenário 2 (T3)

Um total de 3.061 dados coletados serão analisados nesse *range*.

Com a representação da Média Móvel, demonstrada para 60s e 120s, identificam-se a degradação do sinal a partir da amostra 2.500.

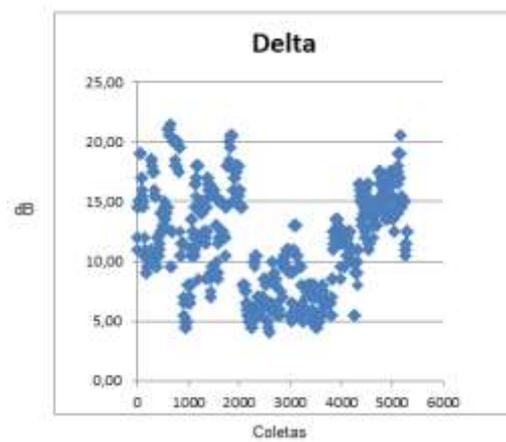


Média Móvel em 60s do Cenário 2 (T3)

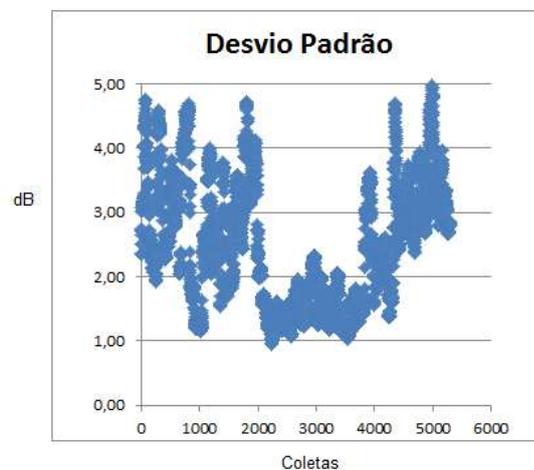


Média Móvel em 120s do Cenário 2 (T3)

O Delta e o Desvio Padrão são representados.

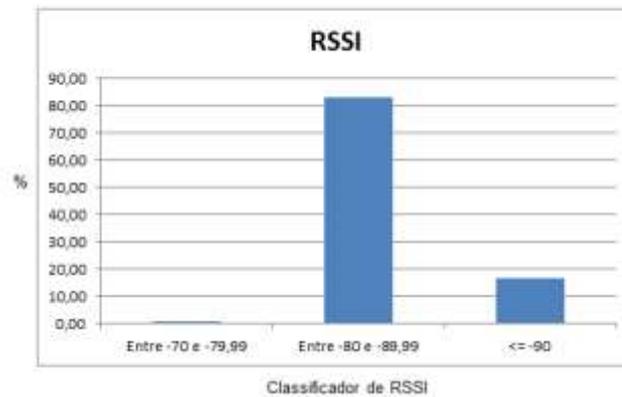


Delta do Cenário 2 (T3)



Desvio Padrão do Cenário 2 (T3)

O histograma apresentado para esse intervalo.



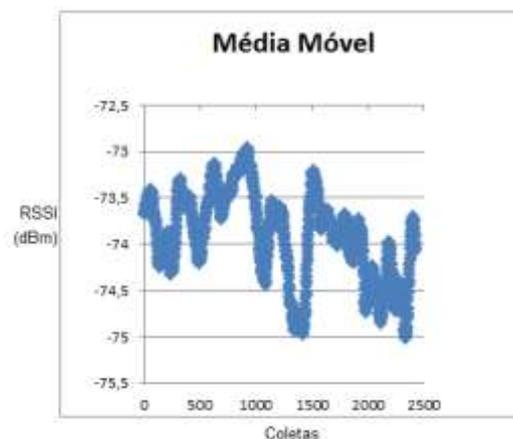
Classificação da RSSI do Cenário 2 (T3)

Ao considerar o total de coletas desse *range* igual a 3061 e o total de perdas de pacotes, que é de 1.005, houve 32,83% de perda de pacotes, um índice muito elevado, considerando uma PER tolerável de 5%, apresentada no Capítulo 3.

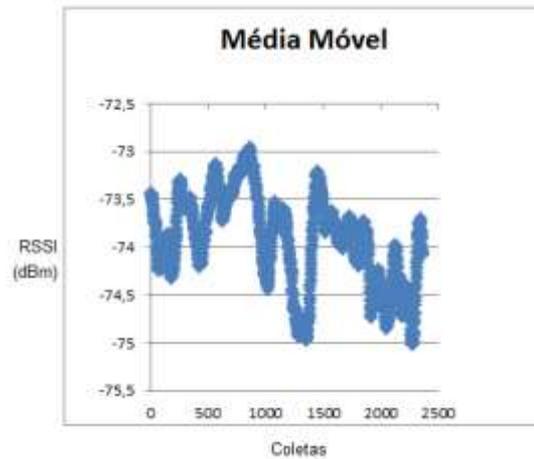
Análise do Primeiro Trecho do Cenário 3 (T1)

Nesse *range*, analisaram-se 2.485 dados coletados.

A representação da Média Móvel foi em 60s e 120s. Identificaram-se a degradação do sinal a partir da amostra 1.000.

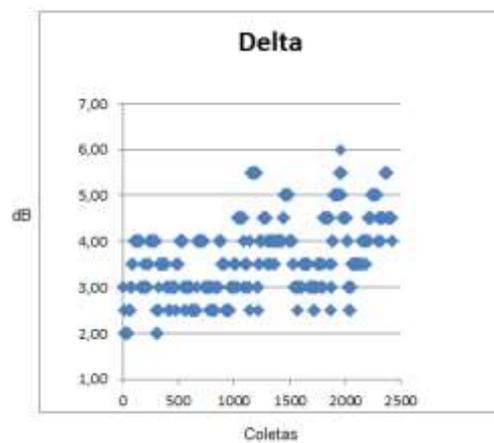


Média Móvel em 60s do Cenário 3 (T1)



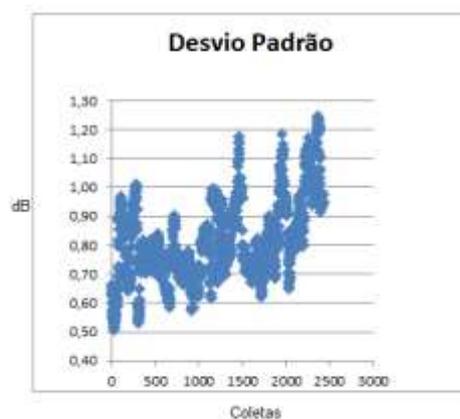
Média Móvel em 120s do Cenário 3 (T1)

O Delta apresenta um crescimento, portanto, indica a degradação do sinal.



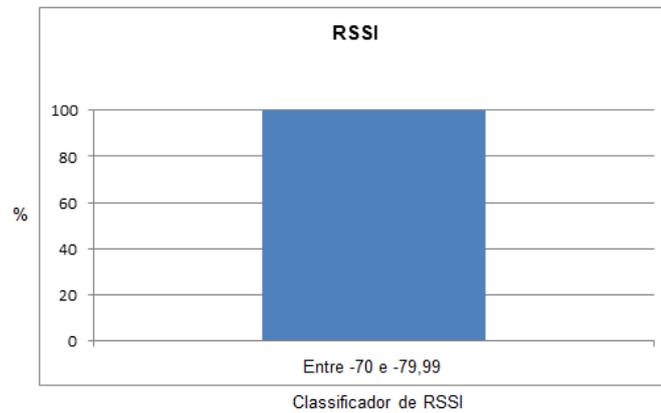
Delta do Cenário 3 (T1)

O Desvio Padrão, que, mesmo demonstrando um sinal com vários pontos de ascensão, apresenta um crescimento, indicando a degradação do sinal.



Desvio Padrão do Cenário 3 (T1)

Nesse intervalo, o sinal ficou concentrado entre -70 e -79,99 dBm.

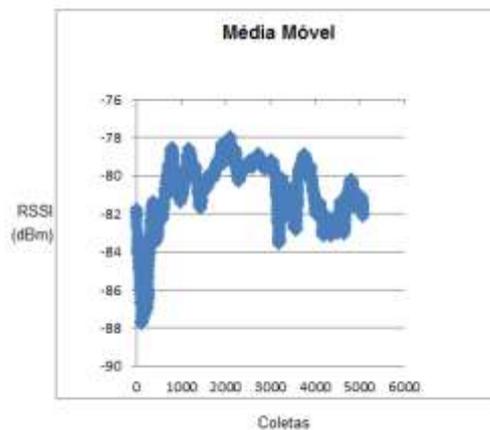


Classificação da RSSI do Cenário 3 (T1)

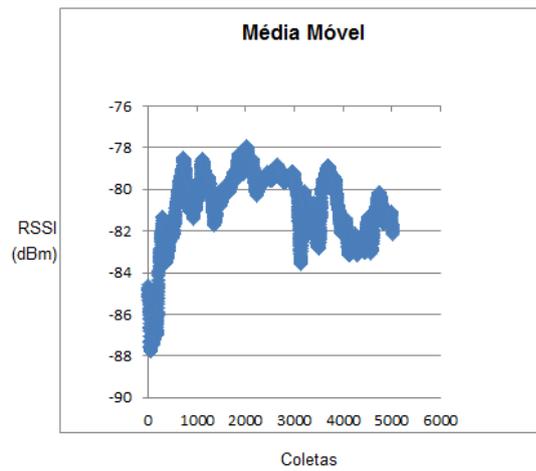
Ao considerar o total de coletas desse *range* igual a 2485 e o total de perdas de pacotes de 5, houve 0,20% de perda de pacotes, um índice muito inferior.

Análise do Segundo Trecho do Cenário 3 (T2)

Nesse trecho, são analisadas 5.139 amostras, a degradação do sinal deu início a partir da amostra 2.000.

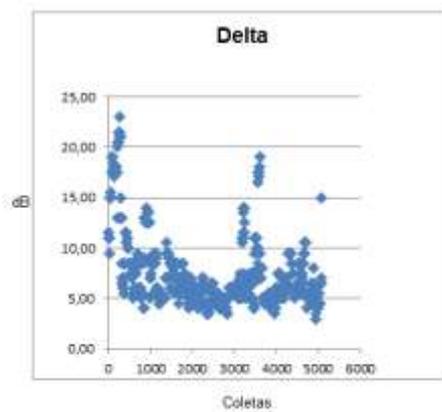


Média Móvel em 60s do Cenário 3 (T2)

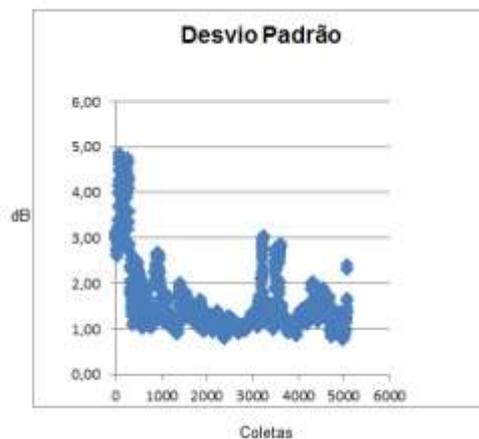


Média Móvel em 120s do Cenário 3 (T2)

Pode-se visualizar o Delta e o Desvio Padrão desse trecho.

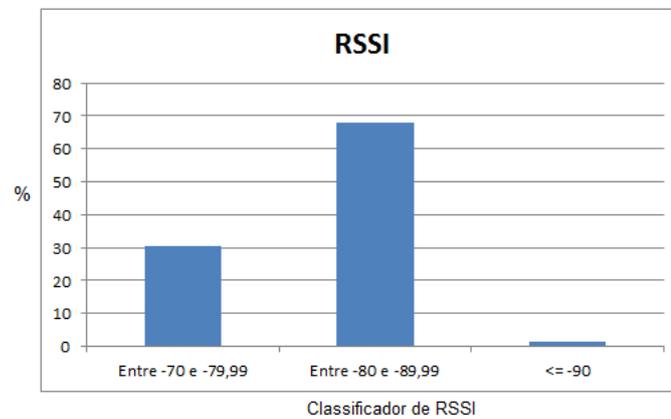


Delta do Cenário 3 (T2)



Desvio Padrão do Cenário 3 (T2)

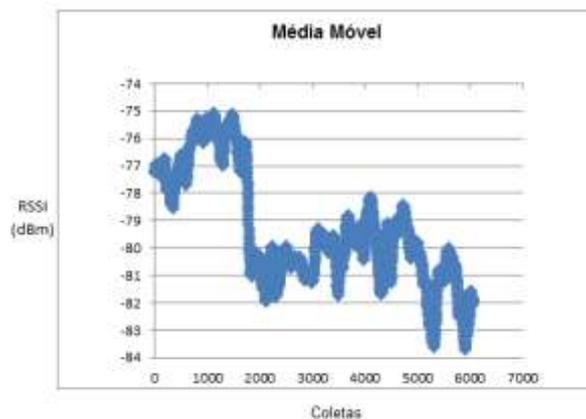
A RSSI esteve presente em três classes, mas a classe que prevaleceu foi a de -80 até -88,99 dBm, classificando-se esse trecho como Ruim. Essa classificação provém da Tabela 7.



Classificação da RSSI do Cenário 3 (T2)

Ao considerar o total de coletas desse *range* igual a 5139 e o total de perdas de pacotes de 140, houve 2,72% de perda de pacotes, um índice inferior ao tolerável.

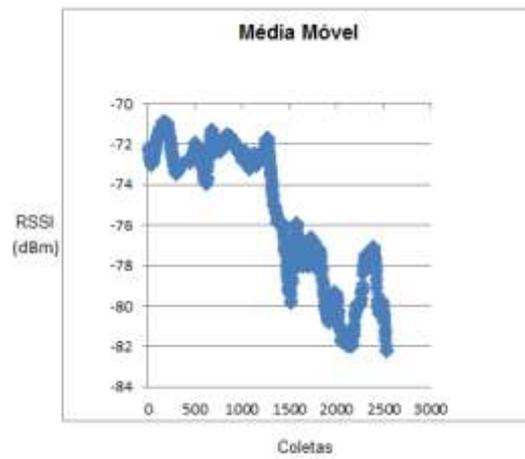
Análise do Terceiro Trecho do Cenário 3 (T3)



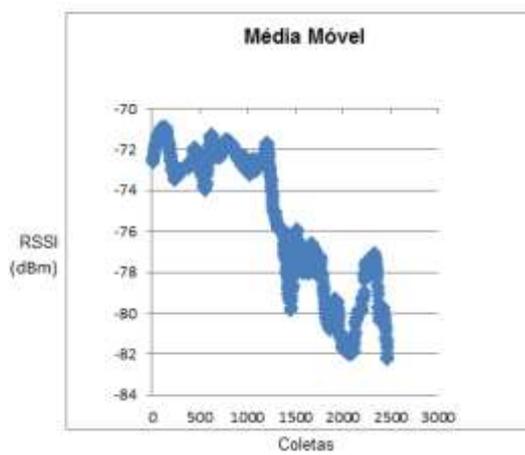
Média Móvel em 120s do Cenário 3 (T3)

Análise do Primeiro Trecho do Cenário 4 (T1)

Analisa-se 2.471 coletas nesse trecho, podem-se identificar a degradação do sinal a partir da coleta 1043.

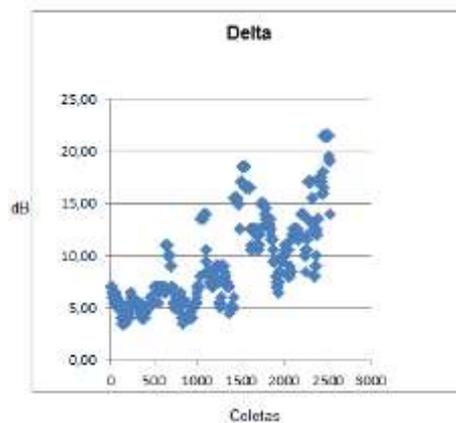


Média Móvel em 60s do Cenário 4 (T1)

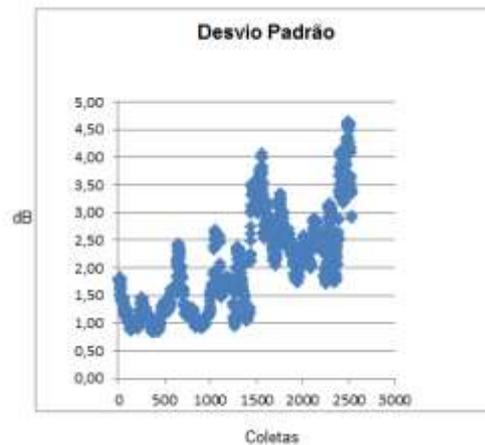


Média Móvel em 120s do Cenário 4 (T1)

Outros indicativos a serem considerados são o Delta e o Desvio Padrão.



Delta do Cenário 4 (T1)



Desvio Padrão do Cenário 4 (T1)

A RSSI apresentada em maior evidência nesse intervalo é a que está entre -70 e -79,99 dBm.

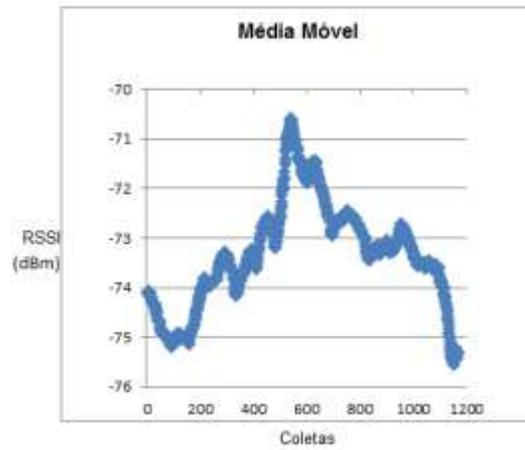


Classificação da RSSI do Cenário 4 (T1)

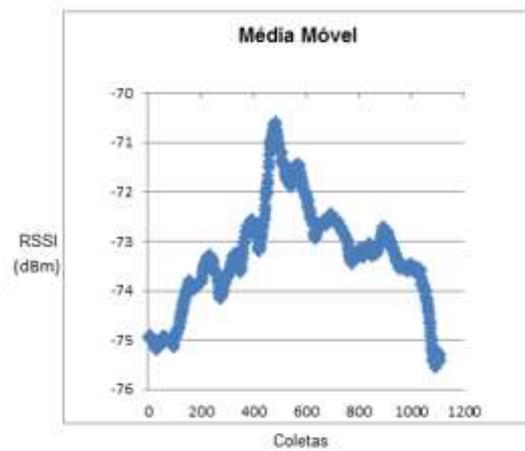
Com o total de coletas desse *range* igual a 2.471 e 19 perdas de pacotes, houve 0,77% de perda de pacotes, um índice inferior ao tolerável.

Análise do Segundo Trecho do Cenário 4 (T2)

Serão analisadas 1226 amostras nesse trecho e identifica-se a degradação do sinal a partir da amostra 500.

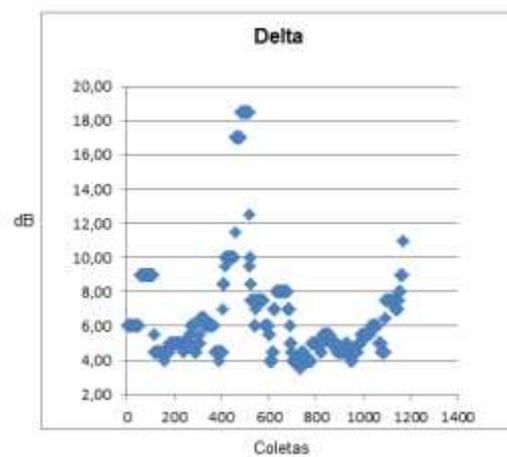


Média Móvel em 60s do Cenário 4 (T2)

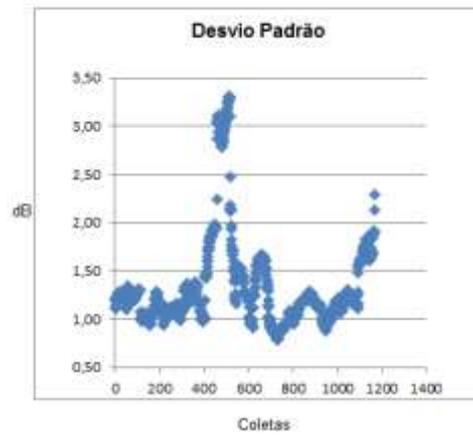


Média Móvel em 120s do Cenário 4 (T2)

Outros indicativos a serem considerados foram o Delta e o Desvio Padrão.

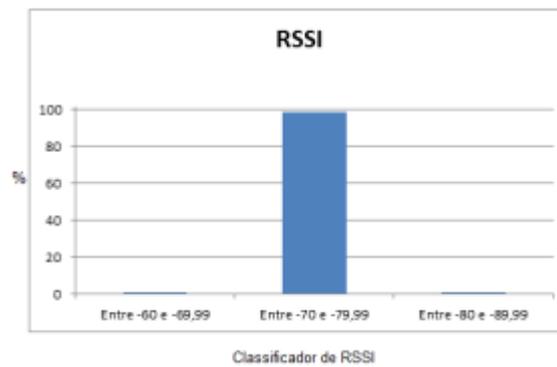


Delta do Cenário 4 (T2)



Desvio Padrão no Cenário 4 (T2)

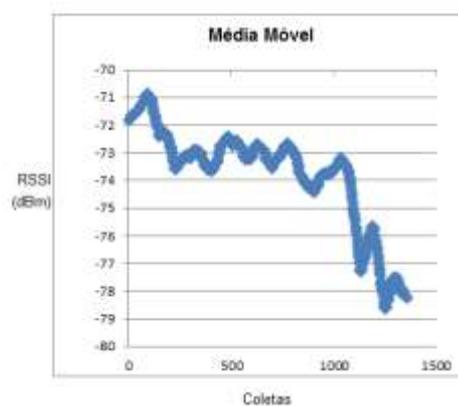
Apresenta-se o histograma da RSSI desse intervalo, que classifica esse trecho como Regular.



Classificação da RSSI do Cenário 4 (T2)

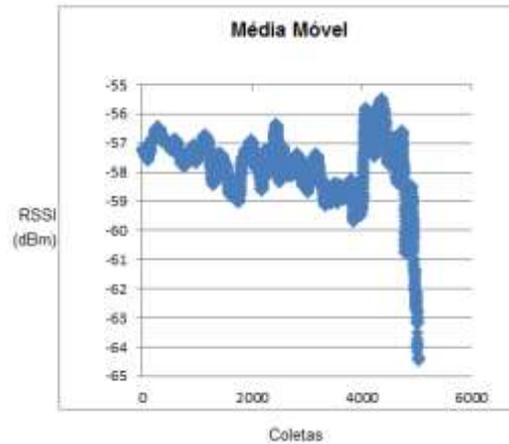
Com o total de coletas desse *range* igual a 1226 e 3 perdas de pacotes, houve 0,24% de perda de pacotes.

Análise do Terceiro Trecho do Cenário 4 (T3)



Média Móvel em 120s do Cenário 4 (T3)

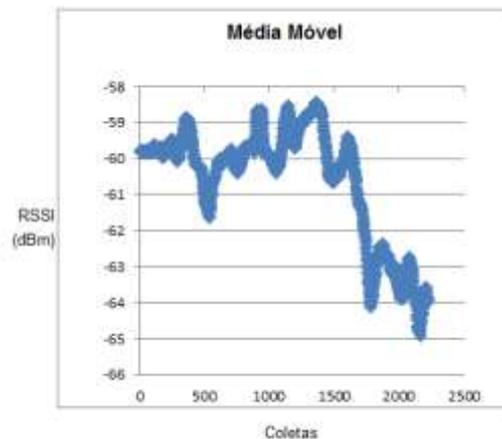
Análise do Primeiro Trecho do Cenário 5 (T1)



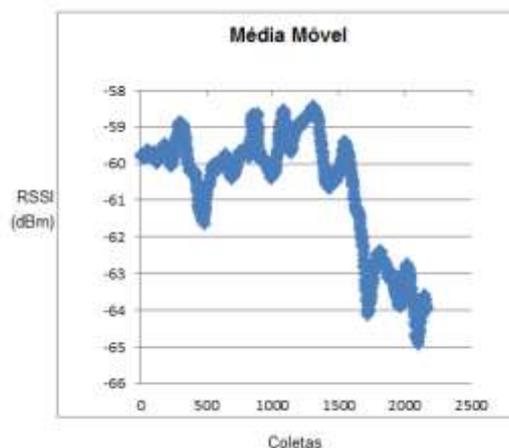
Média Móvel em 120s do Cenário 5 (T1)

Análise do Segundo Trecho do Cenário 5 (T2)

A Média Móvel demonstra uma degradação relevante do sinal a partir do ponto 1400 da coleta.

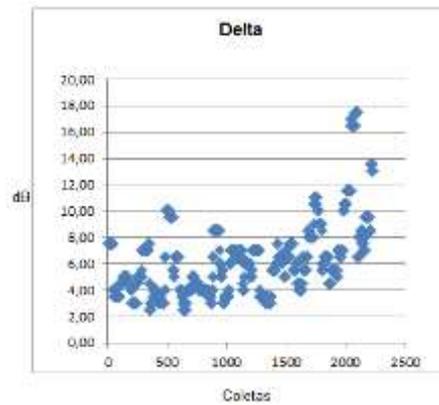


Média Móvel em 60s do Cenário 5 (T2)

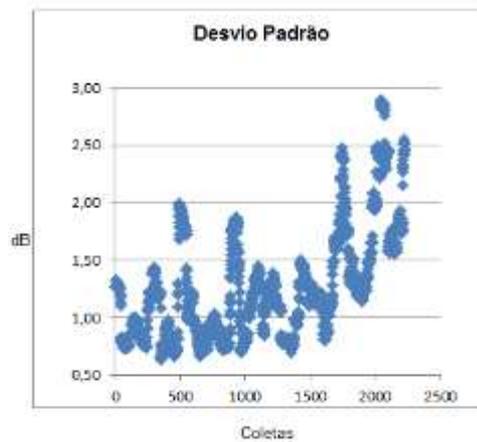


Média Móvel em 120s do Cenário 5 (T2)

Demonstra-se o Delta e o Desvio Padrão.

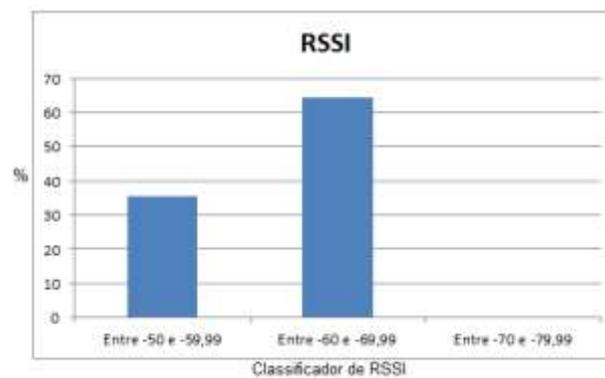


Delta do Cenário 5 (T2)



Desvio Padrão do Cenário 5 (T2)

A classificação de RSSI desse trecho foi classificada como Boa, mesmo esse cenário como um todo ter sido classificado como ótimo.

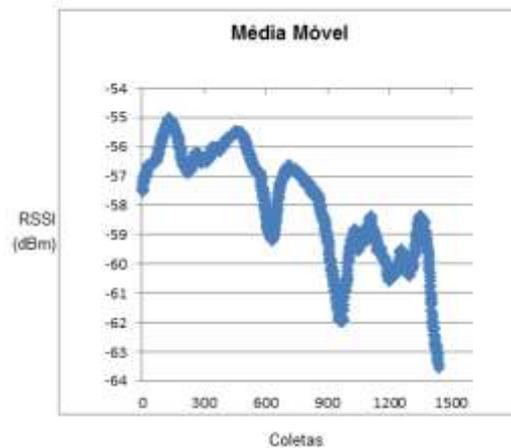


Classificação da RSSI do Cenário 5 (T2)

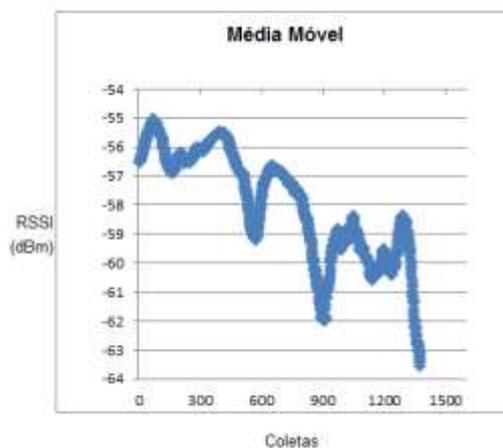
Ao considerar o total de coletas desse *range* igual a 2.285 e o total de perdas de pacotes de 1, houve 0,44% de perda de pacotes.

Análise do Terceiro Trecho do Cenário 5 (T3)

Ao efetuar a representação da Média Móvel para 60s e para 120s identifica-se a degradação do sinal a partir da amostra 500. Foram analisadas 1.496 amostras.

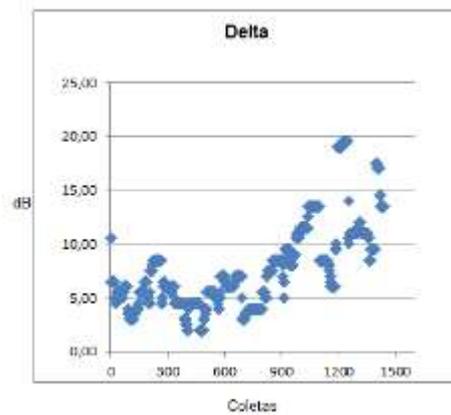


Média Móvel em 60s do Cenário 5 (T3)

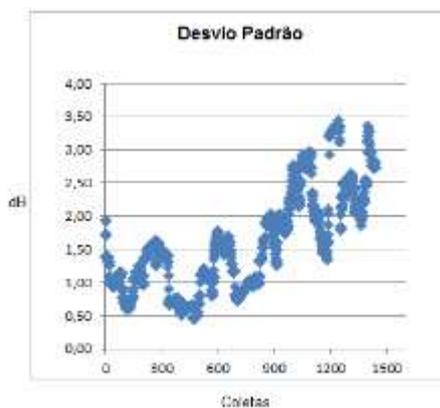


Média Móvel em 120s do Cenário 5 (T3)

Outros indicativos a serem considerados são o Delta e o Desvio Padrão.



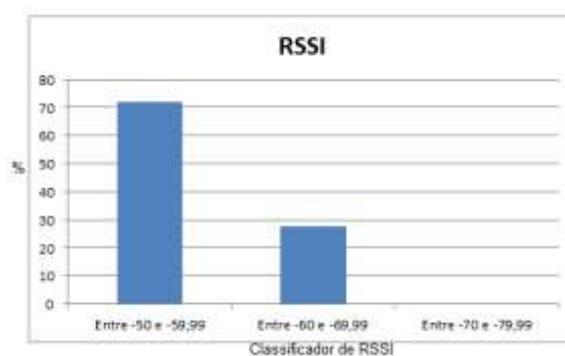
Delta do Cenário 5 (T3)



Desvio Padrão do Cenário 5 (T3)

Mesmo o Delta e o Desvio apresentando um espalhamento do sinal, característica da variabilidade do sinal contido nesse trecho do cenário, existe o crescimento de ambos, indicando a degradação do sinal.

Demonstra-se a classificação desse trecho.

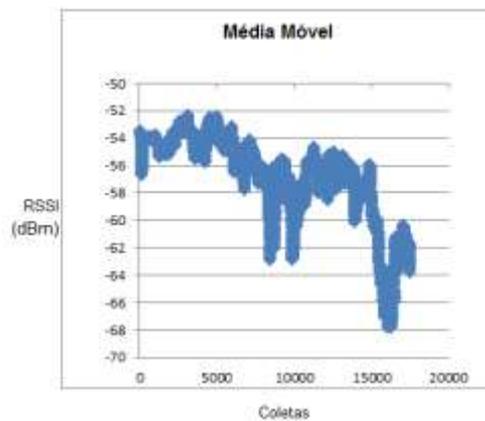


Classificação da RSSI do Cenário 5 (T3)

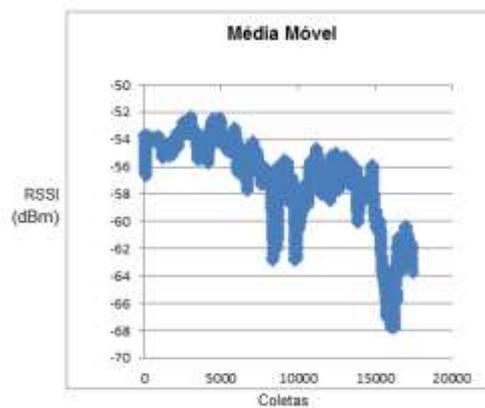
Ao considerar o total de coletas desse *range* igual a 1.496 e o total de perdas de pacotes de 5, houve 0,33% de perda de pacotes, um índice bem inferior, considerando uma PER tolerável de 5%, apresentada no Capítulo 3.

Análise do Primeiro Trecho do Cenário 7 (T1)

Ao efetuar a representação da Média Móvel, para 60s e para 120s, verifica-se a degradação do sinal a partir da amostra 5.000. Foram analisadas 17.558 amostras.

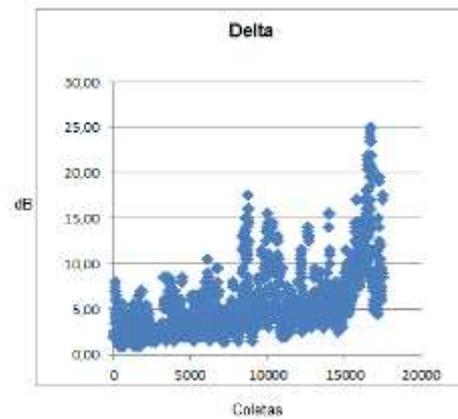


Média Móvel em 60s do Cenário 7 (T1)

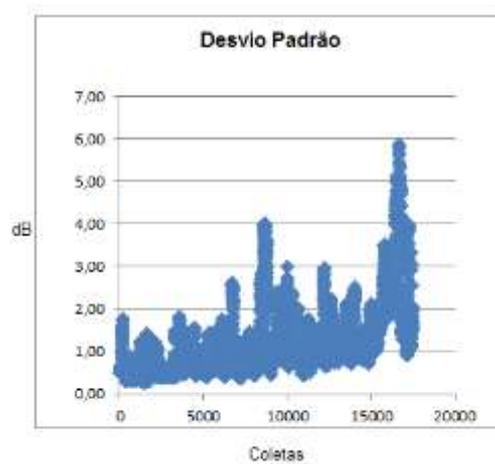


Média Móvel em 120s do Cenário 7 (T1)

O Delta e o Desvio Padrão estão representados.

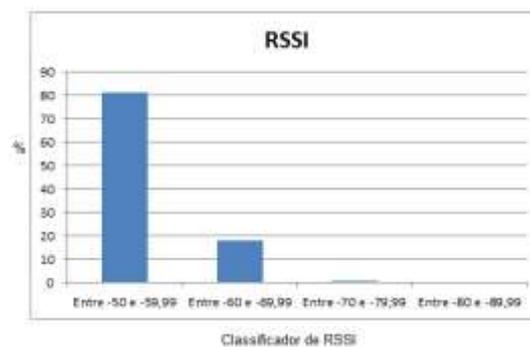


Delta do Cenário 7 (T1)



Desvio Padrão do Cenário 7 (T1)

O comportamento do sinal é demonstrado, considerando a sua classificação por faixa, que nesse trecho foi ótima.

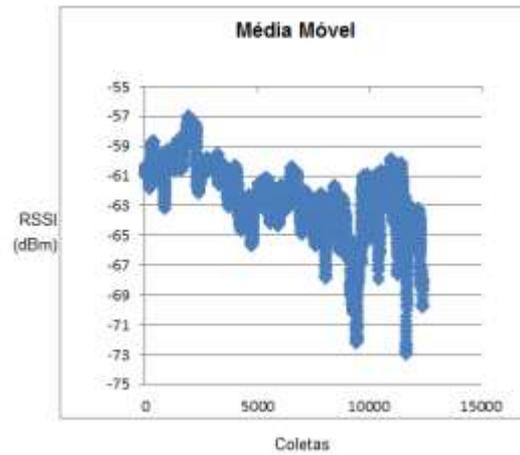


Classificação da RSSI do Cenário 7 (T1)

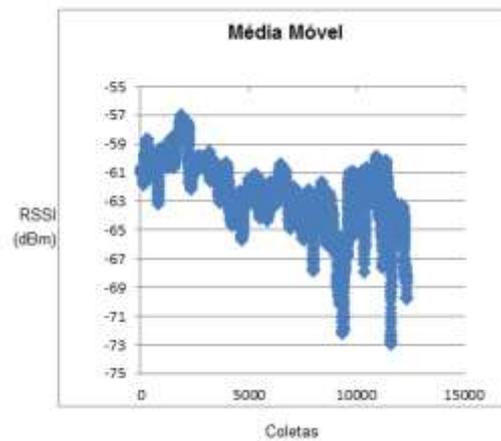
Ao considerar o total de coletas desse *range* igual a 17.558 e o total de perdas de pacotes de 15, houve 0,08% de perda de pacotes, um percentual muito pequeno.

Análise do Segundo Trecho do Cenário 7 (T2)

Podem-se identificar a degradação do sinal a partir da amostra 2.500. Nesse trecho foram consideradas 12.459 amostras.

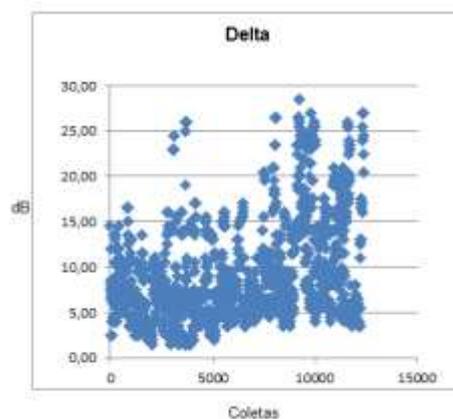


Média Móvel em 60s do Cenário 7 (T2)

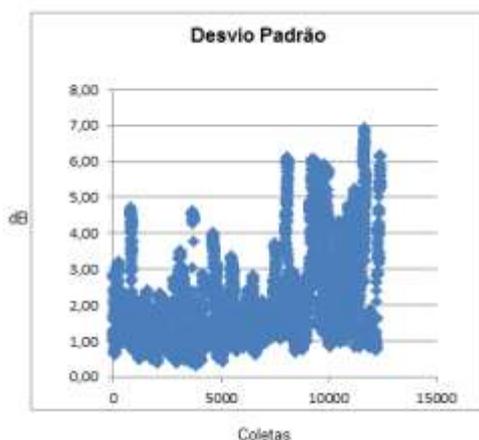


Média Móvel em 120s do Cenário 7 (T2)

O Delta e o Desvio Padrão, apresentam um crescimento.

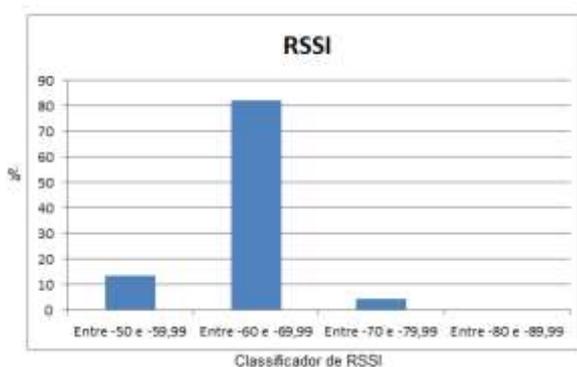


Delta do Cenário 7 (T2)



Desvio Padrão do Cenário 7 (T2)

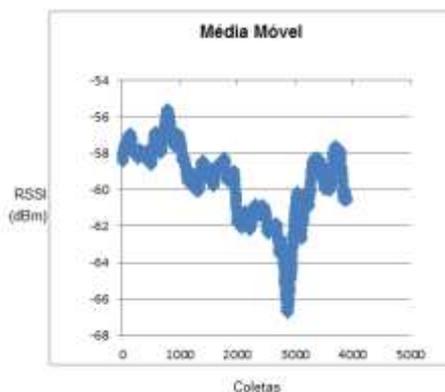
A classificação desse trecho é considerada como Boa.



Classificação da RSSI do Cenário 7 (T2)

Ao considerar o total de coletas desse *range* igual a 12.459 e o total de perdas de pacotes de 27, houve 0,67% de perda de pacotes, um índice bem inferior, considerando uma PER tolerável de 5%.

Análise do Terceiro Trecho do Cenário 7 (T3)



Média Móvel em 120s do Cenário 7 (T3)