

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, AMBIENTAIS E DE
TECNOLOGIAS**

GUSTAVO IERVOLINO DE MORAIS

**AVALIAÇÃO DAS PERTURBAÇÕES
ELETROMAGNÉTICAS RADIADAS DE
EQUIPAMENTOS ELETRODOMÉSTICOS NA RSSF**

CAMPINAS

2018

GUSTAVO IERVOLINO DE MORAIS

**AVALIAÇÃO DAS PERTURBAÇÕES
ELETROMAGNÉTICAS RADIADAS DE
EQUIPAMENTOS ELETRODOMÉSTICOS NA RSSF**

Dissertação apresentada como exigência para obtenção do Título de Mestre em Gestão de Redes de Telecomunicações, ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, da Faculdade de Engenharia Elétrica, da Pontifícia Universidade Católica de Campinas.

Orientador: Prof. Dr. Omar Carvalho
Branquinho

**PUC-CAMPINAS
2018**

Ficha catalográfica elaborada por Marluce Barbosa – CRB 8/7313
Sistema de Bibliotecas e Informação - SBI - PUC-Campinas

t621.3851 Morais, Gustavo Iervolino de.
M827a Avaliação das perturbações eletromagnéticas radiadas de equipamentos eletrodomésticos na RSSF / Gustavo Iervolino de Morais. - Campinas: PUC-Campinas, 2018.
88 f.

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

1. Redes de sensores sem fio. 2. Eletrodomésticos. 3. Interconexão de redes (Telecomunicações). 4. Engenharia elétrica. I. Branquinho, Omar Carvalho. II. Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Centro Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias. Pós-Graduação em Redes de Telecomunicações. III. Título.

CDD – 22. ed. t621.3851

GUSTAVO IERVOLINO DE MORAIS

**AVALIAÇÃO DAS PERTURBAÇÕES
ELETROMAGNÉTICAS RADIADAS DE EQUIPAMENTOS
ELETRODOMÉSTICOS NA RSSF**

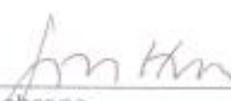
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias da Pontifícia Universidade Católica de Campinas como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Gestão de Redes de Telecomunicações.

Área de Concentração: Engenharia Elétrica.
Orientador: Prof. Dr. Omar Carvalho Branquinho

Dissertação defendida e aprovada em 26 de fevereiro de 2018 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



Prof. Dr. Frank Herman Behrens
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



Prof. Dr. Geraldo Peres Caizeta
Universidade São Francisco

Dedico este trabalho primeiramente a Deus. A
minha esposa, aos meus pais, Iervolino (*In
memoriam*) e Lourdes

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha esposa, Érika, amiga, companheira e minha inspiração, por estar ao meu lado em todos os momentos difíceis, e pela compreensão em abdicar o tempo que poderíamos estar juntos para realização deste trabalho. Além do suporte técnico dado em todo decorrer do trabalho.

Agradeço meu pai, Iervolino (*in memorian*) e a minha mãe, Lourdes, pelo exemplo de vida e também por sempre incentivarem o meu crescimento e a realização dos meus sonhos.

Agradeço ao meu sogro, Ideraldo, a minha sogra, Rose e ao meu cunhado Igor pelo apoio e pelas palavras de incentivo.

Agradeço ao meu orientador, Omar Carvalho Branquinho, pelo auxílio, pelo incentivo e por dedicar o seu tempo e a sua vasta experiência na realização deste trabalho.

Agradeço ao aluno Guilherme, pelo suporte técnico dado na elaboração da RSSF.

Agradeço aos meus colegas do curso que sempre contribuíram e deram forças para concretização deste trabalho.

Agradeço ao Instituto de Pesquisas Eldorado por disponibilizar a infraestrutura de teste.

Agradeço a Pontifícia Universidade Católica de Campinas por disponibilizar sempre que possível os recursos para esta execução deste trabalho.

“Mas em todas estas coisas somos mais que vencedores, por meio daquele que nos amou ”.
Bíblia Sagrada

RESUMO

MORAIS, Gustavo Iervolino. *Avaliação das perturbações eletromagnéticas radiadas de equipamentos eletrodomésticos na RSSF*. 2018. 88f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Gestão de Redes de Telecomunicações, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2018.

Os equipamentos eletrodomésticos não possuem certificação para serem comercializados no Brasil quanto aos aspectos de emissão de perturbação eletromagnética o que pode afetar as funcionalidades dos sistemas de telecomunicações, bem como o avanço de tecnologias, como por exemplo, o IoT (Internet das coisas), sendo a RSSF amplamente utilizada dentro de IoT, devido sua flexibilidade e o baixo custo. Este trabalho avalia os níveis das perturbações eletromagnéticas geradas pelos equipamentos eletrodomésticos e o quanto estas perturbações podem afetar o funcionamento de RSSF. O trabalho foi dividido em 3 etapas e em todas elas foram utilizadas a Câmara Semi-anecóica, sendo a primeira etapa a avaliação das perturbações eletromagnéticas dos equipamentos eletrodomésticos, se atendem aos requisitos normativos utilizados na Europa, em segundo uma caracterização da RSSF, sendo avaliado a RSSI e a PER, e por último o eletrodoméstico com maior nível interferente foi colocado junto a RSSF para avaliação de RSSI e da PER. Os resultados obtidos demonstraram que os equipamentos eletrodomésticos não atendem aos limites normativos e afetam significativamente o funcionamento de um RSSF.

Palavras-chave: RSSF. Compatibilidade Eletromagnética. Radioperturbação. Equipamentos Eletrodomésticos. Internet das Coisas.

ABSTRACT

MORAIS, Gustavo Iervolino. *Evaluation of radiated electromagnetic disturbances of household appliances in WSN*. 2018. 88f. Dissertation (Master in Electrical Engineering) – Programa de Pós-Graduação em Gestão de Redes de Telecomunicações, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2018.

Household appliances are not certified to be marketed in Brazil as regards emission aspects of electromagnetic disturbance, which may affect the functionalities of telecommunications systems, as well as the advancement of technologies, such as IoT (Internet of Things), being the WSN widely used within lot, due to its flexibility and the low cost. This work evaluates the levels of electromagnetic disturbances generated by household appliances and how much these disturbances can affect the functioning of WSN. The work was divided in 3 stages and in all of them the Semi-Anechoic Chamber was used, being the first stage the evaluation of the electromagnetic disturbances of the household appliances, if they meet the normative requirements used in Europe, secondly a characterization of the WSN, being evaluated the RSSI and the PER, and finally the appliance with the highest interfering level was placed with the WSN to evaluate RSSI and PER. The results showed that the household appliances do not meet the normative limits and significantly affect the functioning of an WSN.

Keywords: WSN. Electromagnetic Compatibility. Radio disturbance. Household appliances. Internet of things.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Margem de Compatibilidade	18
Figura 2. Apresentação dos fenômenos eletromagnéticos	19
Figura 3. Ensaio da norma CISPR 14-1	24
Figura 4. Detector de Pico	27
Figura 5. Detector de Quase Pico.....	28
Figura 6. Detector de média	28
Figura 7. Diagrama de um sistema de comunicação	30
Figura 8. Relação ideal entre RSSI e distância.....	32
Figura 9. Relação entre BER e E_b/N_0	33
Figura 10. Áreas de aplicação e usuários de IoT	34
Figura 11. Volume de pesquisas no Google sobre Wireless Sensor Networks e Internet of Things	35
Figura 12. Resultados das medidas com aspirador de pó e aquecedor.....	38
Figura 13. Resultados das medidas com liquidificador e secador de cabelo	38
Figura 14. Medidas de RSSI na RSSF	39
Figura 15. Configuração de ensaio para medidas das perturbações eletromagnéticas – Equipamentos Eletrodomésticos	40
Figura 16. Configuração de ensaio para caracterização da RSSF.....	41
Figura 17. Configuração de ensaio para caracterização da RSSF com os Eletrodomésticos.....	41
Figura 18. CSA do Instituto de Pesquisas Eldorado (10 metros)	42
Figura 19. Antena ultradLog	43
Figura 20. Antena Double-Ridged Guide	44
Figura 21. ESIB 40 EMI test receiver.....	45
Figura 22. BE900 Módulo de comunicação sem fio	46
Figura 23. Atenuador modelo 50R-029.....	48
Figura 24. Atenuador modelo 50R-019.....	48
Figura 25. Validação da CSA para polarização Vertical.....	50
Figura 26. Validação da CSA para polarização Horizontal.....	51
Figura 27. Impedância mútua normativa.....	51
Figura 28. Caracterização dos atenuadores	53
Figura 29. Configuração de ensaio para medidas das perturbações eletromagnéticas – Equipamentos Eletrodomésticos - Cima.....	54
Figura 30. Configuração de ensaio para medidas das perturbações eletromagnéticas – Equipamentos Eletrodomésticos - Frente.....	55
Figura 31. Configuração de ensaio para medidas das perturbações eletromagnéticas – Equipamentos Eletrodomésticos - Trás	55
Figura 32. Diagrama temporal do método de coleta de dados.....	56
Figura 33. Parte do código Python para coleta de RSSI	56
Figura 34. Configuração da RSSF na CSA sem eletrodomésticos – vista lateral.....	57
Figura 35. Configuração da RSSF na CSA sem eletrodomésticos – vista frontal	57
Figura 36. Configuração de ensaio para caracterização da RSSF com os Eletrodomésticos.....	58
Figura 37. Resultado da Medida Relativa (± 4 dB) - Polarização Horizontal – 1 metro	59
Figura 38. Resultado da Medida Relativa (± 4 dB) - Polarização Horizontal - 2 metros	60
Figura 39. Resultado da Medida Relativa (± 4 dB) - Polarização Vertical – 1 metro	60
Figura 40. Resultado da Medida Relativa (± 4 dB) - Polarização Vertical – 1,5 metro	61
Figura 41. Resultado da medição de atenuação – 10 até 70 dB.....	62
Figura 42. Resultado da medição de atenuação – 1 até 10 dB.....	63

Figura 43. Resultado da medição das perturbações – Ruído de Fundo.....	64
Figura 44. Resultado da medição das perturbações – Micro-ondas e Geladeira	65
Figura 45. Resultado da medição das perturbações – Micro-ondas, Geladeira e Liquidificador	66
Figura 46. Resultado da medição das perturbações – Ruído de fundo.....	67
Figura 47. Resultado da medição das perturbações – Aspirador.....	68
Figura 48. Resultado da medição das perturbações – Liquidificador 127 Vac	69
Figura 49. Resultado da medição das perturbações – Liquidificador 220 Vac	70
Figura 50. Resultado da medição das perturbações – Liquidificador 220 Vac e 127 Vac	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Regulamentos de produtos com ensaios EMC.....	21
Tabela 2. Regulamentos de produtos com ensaios EMC.....	23
Tabela 3. Limites de perturbação contínua	25
Tabela 4. Limites de perturbação de potência.....	26
Tabela 5. Limites de perturbação radiada	27
Tabela 6. Especificações técnicas da Antena UltraLog.....	43
Tabela 7. Especificações técnicas da Antena Double-Ridged Guide	44
Tabela 8. Especificações técnicas do módulo BE900	46
Tabela 9. Especificações técnicas do Microcontrolador ATmega328.....	47
Tabela 10. Atenuação normalizada do local (AN (dB)) para geometrias recomendadas com antenas faixa larga	52
Tabela 11. Resultado da medição das perturbações – Micro-ondas, Geladeira e Liquidificador.....	66
Tabela 12. Resultado da medição das perturbações – Aspirador	68
Tabela 13. Resultado da medição das perturbações – Liquidificador 127 Vac.....	69
Tabela 14. Resultado da medição das perturbações – Liquidificador 220 Vac.....	70
Tabela 15. Resultado da medição das perturbações – Liquidificador 220 Vac e 127 Vac.....	72

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Análise da RSSI sem equipamentos eletrodomésticos – 100 medidas	73
Gráfico 2. Análise da RSSI sem equipamentos eletrodomésticos – 300 medidas	74
Gráfico 3. Análise da RSSI com equipamentos eletrodomésticos – 100 medidas	75
Gráfico 4. Análise da RSSI com e sem equipamentos eletrodomésticos – 100 medidas	76
Gráfico 5. Análise da RSSI com e sem equipamentos eletrodomésticos – 300 medidas	77
Gráfico 6. Análise da RSSI com e sem equipamentos eletrodomésticos (RSSI separadas) – 300 medidas	78

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	= Associação Brasileira de Normas Técnicas
AM	= em inglês, <i>Amplitude Modulation</i> (Modulação em Amplitude)
AN	= em inglês, <i>Normalized Attenuation</i> (Atenuação Normalizada)
Anatel	= Agência Nacional de Telecomunicações
BER	= em inglês, <i>Bit Error Rate</i> (Taxa de Erro de Bit)
CE	= <i>Conformité Européenne</i>
CISPR	= em francês, <i>Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques</i> (Comitê Especial Internacional em Perturbações Radioelétricas)
Conmetro	= Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industria
CSA	= Câmara Semi-Anecóica
CSA	= <i>Canadian Standards Association</i>
CW	= em inglês, <i>Constant Wave</i> (Onda Contínua)
DC	= em inglês, <i>Direct Current</i> (Corrente Contínua)
EMC	= em inglês, <i>Electromagnetic Compatibility</i> (Compatibilidade Eletromagnética)
EMI	= em inglês, <i>Electromagnetic Interference</i> (Interferência Eletromagnética)
FCC	= <i>Federal Communications Commission</i>
Filtro RC	= Filtro composto por um resistor e um capacitor
FSK	= <i>Frequency Shift Key</i>
IEC	= em inglês, <i>International Electrotechnical Commission</i> (Comissão Internacional eletrotécnica)
Inmetro	= Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IoT	= em inglês, <i>Internet of Things</i> (Internet das Coisas)
ISM	= em inglês, <i>Industrial Scientific and Medical</i> (Industrial, Científico e Médico)
LED	= em inglês, <i>Light Emitting Diode</i> (Diodo Emissor de Luz)
LIQ	= em inglês, <i>Link Quality Indicator</i> (Indicador da Qualidade de Link)
NSA	= <i>Normalized Site Attenuation</i>
OATS	= <i>Open Area Test Site</i>
PER	= em inglês, <i>Packet Error Rate</i> (Taxa de Erro de Pacote)
RF	= Rádio Frequência
RSSF	= Rede de Sensor Sem Fio
RSSI	= em inglês, <i>Received Signal Strength Indicator</i> (Indicador da Força do Sinal Recebido)
RSSI - DL	= em inglês, <i>Received Signal Strength Indicator - Downlink</i> (Indicador da Força do Sinal Recebido - <i>Downlink</i>)

RSSI-UL = em inglês, *Received Signal Strength Indicator - Uplink* (Indicador da Força do Sinal Recebido - *Uplink*)

SBAC = Sistema Brasileiro de Avaliação da Conformidade

SNR = em inglês, *Signal to Noise Ratio* (Relação Sinal Ruído)

UL = *Underwriters Laboratories*

VSWR = *Voltage Standing Wave Ratio*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	REVISÃO DA LITERATURA E PADRÕES.....	21
2.1	Regulamentação brasileira para ensaios de EMC	21
2.2	Contextualização mundial para ensaios de EMC	23
2.3	Norma CISPR 14-1	24
2.3.1	Detectores de medição.....	27
2.4	Rede de sensores sem fio.....	30
2.4.1	Sistema de comunicação	30
2.4.2	RSSI	31
2.4.3	BER.....	32
2.4.4	Internet das coisas em RSSF.....	34
2.5	Interferências Eletromagnéticas em serviços de telecomunicações	37
3	PROPOSTA	40
3.1	Medições das Perturbações Eletromagnéticas Radiadas – Equipamentos Eletrodomésticos	40
3.2	Caracterização da RSSF sem equipamentos eletrodomésticos	41
3.3	Avaliação das perturbações eletromagnéticas dos Equipamentos Eletrodomésticos com a RSSF... ..	41
4	MATERIAL	42
4.1	Câmara Semi-Anecóica	42
4.2	Antena para medição eletromagnética.....	43
4.3	Medidor de perturbação eletromagnética.....	45
4.4	Módulo Rádio	46
4.4.1	Processador ATmega328.....	47
4.4.2	Transceptor CC1101	47
4.5	Atenuadores.....	48
4.6	Equipamentos Eletrodomésticos	49
5	MÉTODO.....	50
5.1	Validação da CSA	50
5.2	Caracterização dos Atenuadores	53
5.3	Medições das Perturbações Eletromagnéticas Radiadas – Equipamentos Eletrodomésticos	54
5.4	Avaliação da RSSF sem equipamentos eletrodomésticos	56
5.5	Avaliação das perturbações eletromagnéticas dos Equipamentos Eletrodomésticos com a RSSF... ..	58
6	RESULTADOS.....	59
6.1	Validação da CSA	59
6.2	Caracterização dos Atenuadores	62
6.3	Medições das Perturbações Eletromagnéticas Radiadas – Equipamentos Eletrodomésticos	64
6.4	Avaliação da RSSF sem equipamentos eletrodomésticos	73
6.5	Avaliação das perturbações eletromagnéticas dos equipamentos eletrodomésticos com a RSSF	75
7	CONCLUSÃO	79
8	REFERÊNCIAS.....	81

1 INTRODUÇÃO

O ambiente residencial é rico em quantidade e diversidade de equipamentos eletroeletrônicos, sendo propício ao surgimento de perturbações eletromagnéticas que afetam diretamente as suas funcionalidades e também o acesso ao serviço das redes de telecomunicações.

A ocorrência dessas perturbações advindas da natureza e outras relacionadas com a dinâmica operacional de um sistema elétrico, bem como atuações dos dispositivos de proteção, entrada e saída de cargas de elevadas potências, partida de grandes motores, ocorrência de curtos-circuitos e forte presença de cargas não-lineares, tem ocasionado impactos que podem ser determinantes na operação dos mais diversos equipamentos que compõem os seguimentos industriais, comerciais e residenciais, de consumidores. Sob a ação destes fenômenos, os aparelhos elétricos podem vir a operar de maneira inadequada ou, em casos extremos, podem até mesmo sofrer danos que exijam reposição (FARIA et al., 2014)

Com o avanço da tecnologia e a necessidade da Anatel em proteger o espectro radioelétrico brasileiro, foi criado um requisito para certificação de um produto de telecomunicações, o ensaio de compatibilidade eletromagnética, que por definição normativa (AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, 2006), significa:

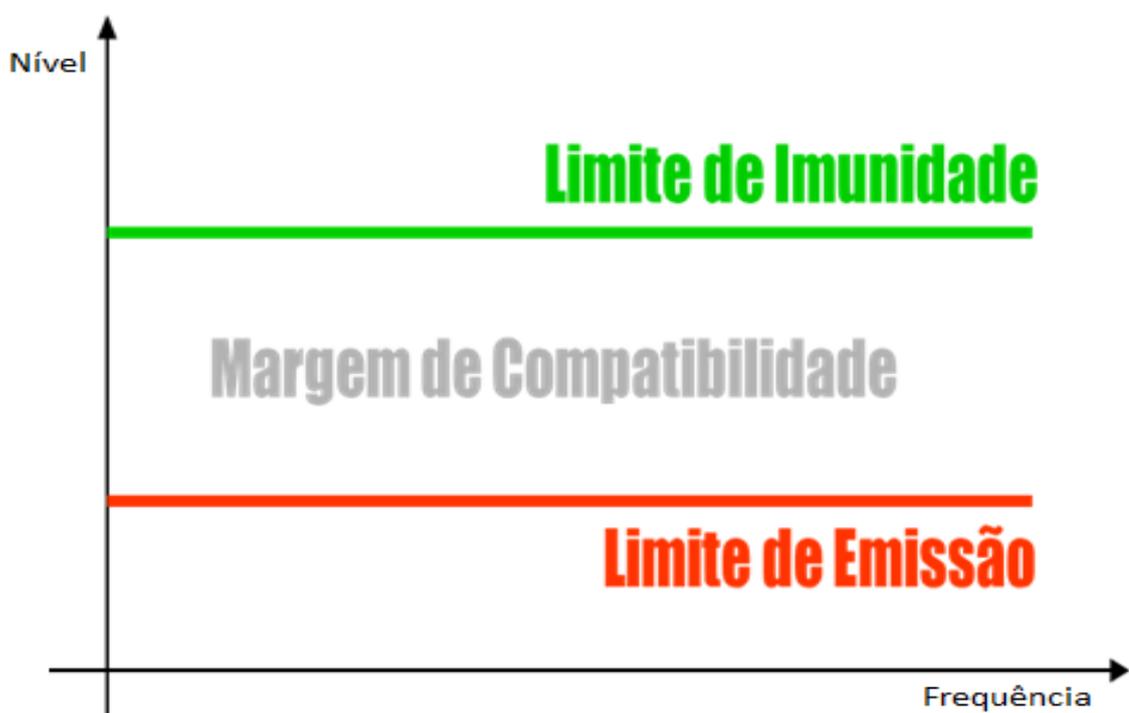
“Capacidade de um dispositivo, equipamento ou sistema, de funcionar de acordo com as suas características operacionais, no seu ambiente eletromagnético, sem impor perturbações intoleráveis aos demais equipamentos, dispositivos ou sistemas que compartilham o mesmo ambiente eletromagnético.”

Quando se trata de compatibilidade eletromagnética, tem-se duas vertentes, sendo elas:

- Imunidade eletromagnética, na qual o equipamento é submetido a uma perturbação eletromagnética;
- Emissão eletromagnética, quanto o equipamento está gerando de emissão para o ambiente.

Desta forma, o equipamento deve ser construído de modo que a perturbação eletromagnética gerada por ele não exceda os limites estabelecidos, permitindo que os equipamentos eletrodomésticos e quaisquer outros dispositivos operem adequadamente e com um nível de imunidade apropriado, para que possam atingir uma margem de compatibilidade eletromagnética, conforme a Figura 1.

Figura 1. Margem de Compatibilidade

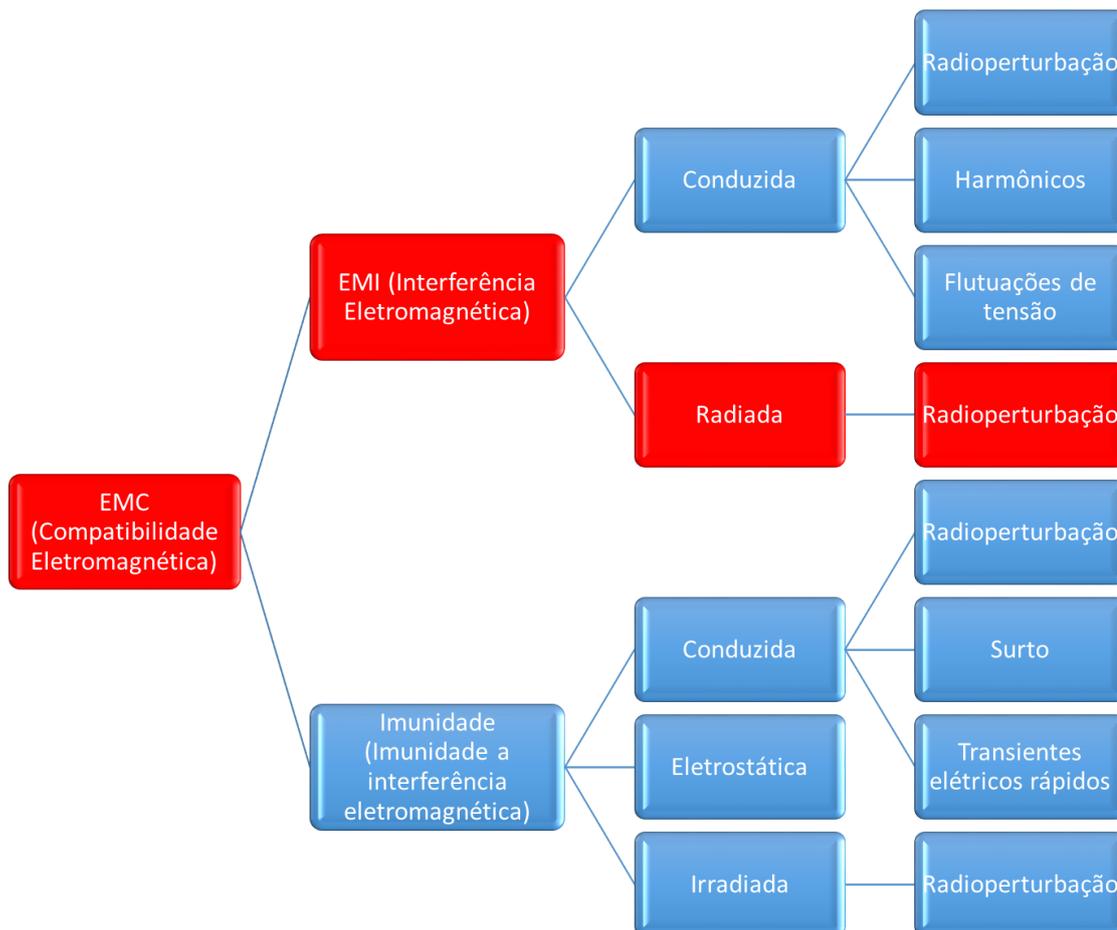


Fonte Própria

Com isso, surgiu a necessidade de criar regulamentos para padronizar os limites aceitáveis e também instruir como realizar as medições destes fenômenos eletromagnéticos, que veio por meio das comissões normativas, sendo uma delas a Comissão Internacional Eletrotécnica (IEC) que deu origem ao Comitê Especial Internacional em Perturbações Radioelétricas (CISPR), específico para tratar dos regulamentos de interferências eletromagnéticas e dos de fenômenos de radioperturbação (requisitos de emissão).

A Figura 2 exemplifica alguns fenômenos eletromagnéticos tratados pela comissão para garantir a compatibilidade eletromagnética de um equipamento.

Figura 2. Apresentação dos fenômenos eletromagnéticos



Fonte Própria

A CISPR criou o regulamento, CISPR 14-1, para tratar dos fenômenos eletromagnéticos quanto aos aspectos de Emissão para equipamentos eletrodomésticos. Neste regulamento existe os limites máximos que um equipamento pode emitir para o ambiente, de modo que não afete os sistemas de telecomunicações. No Brasil não existe regulamento para certificação dos produtos eletrodomésticos, quanto aos aspectos de emissão de radioperturbação eletromagnética, o que contribui para que sejam afetadas as funcionalidades dos sistemas de telecomunicações, bem como o avanço de tecnologias, como por exemplo, o *IoT* (Internet das coisas).

Uma das tecnologias bastante empregadas para Internet das Coisas é a Rede de Sensor Sem Fio (RSSF), por ser uma implementação de baixo custo e com capacidade de atender diversas aplicações, em áreas tais como residencial,

agrícola, automotiva, petróleo dentre outras. Estas são sistemas que transmitem sinais por Rádio Frequência (RF), constituídas por uma central de processamento (conhecida como base ou nó sorvedouro) e dispositivos que medem grandezas físicas e atuam quando necessário. Estes são conhecidos como nó sensores, que podem englobar diversos tipos de sensores (temperatura, umidade, luminosidade, qualidade do ar, etc) e atuadores (relés, displays, LEDs, etc) (AZZARA et al., 2013).

Dentro deste contexto, o trabalho tem o objetivo de avaliar o comportamento de uma RSSF quando submetida à radioperturbações eletromagnéticas causadas por equipamentos eletrodomésticos.

O trabalho está organizado em sete capítulos:

O Capítulo 2 traz primeiramente uma visão geral dos regulamentos, que descrevem os requisitos de EMC, para certificação de produtos no Brasil e também os utilizados mundialmente. Também traz uma visão geral de IoT e RSSF e os trabalhos relacionados às interferências eletromagnéticas.

No Capítulo 3 é exposta a proposta referente ao desenvolvimento do trabalho.

O Capítulo 4 apresenta o material utilizados para realização das medidas e avaliação das perturbações e da RSSF.

O Capítulo 5 demonstra o método utilizada para avaliar as perturbações eletromagnéticas, a RSSF e os dois quando inseridos no mesmo ambiente eletromagnético.

O Capítulo 6 disponibiliza os resultados obtidos, a partir dos métodos previamente apresentados.

Por fim, no Capítulo 7, é comentado o resultado geral do trabalho, a partir da referida proposta, observando contribuições e possíveis sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO DA LITERATURA E PADRÕES

Este capítulo apresenta uma visão dos padrões existentes nesta área e dos trabalhos encontrados.

2.1 Regulamentação brasileira para ensaios de EMC

Atualmente no Brasil, como pode ser observado no estudo realizado na Tabela 1, existem regulamentos que tratam dos ensaios de EMC para alguns tipos de produtos. Estes regulamentos foram elaborados pela Agência Nacional de Telecomunicações, Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) e a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), sendo que apenas os regulamentos da Anatel e INMETRO são compulsórios para a comercialização dos produtos.

Tabela 1. Regulamentos de produtos com ensaios EMC

Produtos	Regulamento
Telecomunicações	Resolução nº 442, de 21 de julho de 2006 - Anatel
Bens de Informática	Portaria nº 170, de 10 de Abril de 2012 - Inmetro
Eletromédicos	Portaria nº 54, de 1 de Fevereiro de 2016 - Inmetro
Lâmpadas LED	Portaria nº 389, de 25 de Agosto de 2014 - Inmetro
Televisores	Portaria nº 427, de 10 de Setembro de 2014 - Inmetro

Fonte Própria

Segundo o projeto de LEI Nº 9.472, DE 16 DE JULHO DE 1997, em seu artigo 19, compete à Anatel adotar as medidas necessárias para o atendimento do interesse público e para o desenvolvimento das telecomunicações brasileiras, atuando com independência, imparcialidade, legalidade, impessoalidade e publicidade, especialmente em expedir ou reconhecer a certificação de produtos, observados os padrões e normas por ela estabelecidos. Com isso, ela criou a resolução número 242, de 30 de novembro de 2000, onde estabelece as regras e os procedimentos gerais relativos à certificação e homologação de produtos de telecomunicações. Para exercer sua função e proteger os sistemas e equipamentos de telecomunicações a Anatel criou o regulamento número 442, de 21 de julho de 2006, que estabelece os requisitos de compatibilidade eletromagnética a serem atendidos pelos produtos de telecomunicações, ou seja, todo produto de telecomunicações que está mapeado pela Agência, para que seja comercializado legalmente no país, necessita passar por ensaios de EMC.

Segundo a resolução Conmetro n.º 04, de 02 de dezembro de 2002, o Sistema Brasileiro de Avaliação da Conformidade (SBAC), é atribuído ao Inmetro a competência para estabelecer as diretrizes e critérios para a atividade de avaliação da conformidade, visando informar e proteger o consumidor, em particular quanto a saúde, segurança e meio ambiente; propiciar a concorrência justa; estimular a melhoria contínua da qualidade; facilitar o comércio internacional e fortalecer o mercado interno. Dois tipos de certificação são avaliados pelo SBAC, sendo elas compulsórias e voluntárias (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, 2017).

As certificações voluntárias são aquelas em que a empresa define se deve ou não certificar o seu produto, e de acordo com o disposto em uma norma técnica, a partir dos benefícios que identifique que essa certificação pode trazer ao seu negócio (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, 2017).

As certificações compulsórias são aquelas em que um regulamento determina que a empresa só pode produzir/comercializar um produto depois que ele estiver certificado (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, 2017).

Neste âmbito, cabe ao INMETRO a criação de regulamentos para equipamentos eletrodomésticos. A Portaria nº 371, de 29 de dezembro de 2009, estabelece os critérios para o Programa de Avaliação da Conformidade de Aparelhos Eletrodomésticos e Similares, com foco nos requisitos de segurança, através do mecanismo de Certificação, não havendo requisitos para ensaios de EMI nesta portaria e nem em outro regulamento do Brasil.

2.2 Contextualização mundial para ensaios de EMC

Mundialmente, diversos países utilizam em seus programas de certificação de produtos os requisitos para os ensaios de EMC, alguns desses são a FCC (*Federal Communications Commission*), UL (*Underwriters Laboratories*), CSA (*Canadian Standards Association*) e CE (*Conformité Européenne*). No caso da marcação CE, por exemplo, existe a diretiva europeia, 2014/30/EU, que trata especificamente das normas de EMC que devem ser utilizadas para a realização dos ensaios em equipamentos eletrodomésticos, que referencia a norma CISPR 14-1.

Diferente do Brasil, a certificação para marcação CE abrange os ensaios de EMC nos equipamentos eletroeletrônicos, como pode ser observado na Tabela 2, onde são listadas as normas de ensaio de EMI para diversos produtos (EUROPEAN COMMISSION, 2017).

Tabela 2. Regulamentos de produtos com ensaios EMC

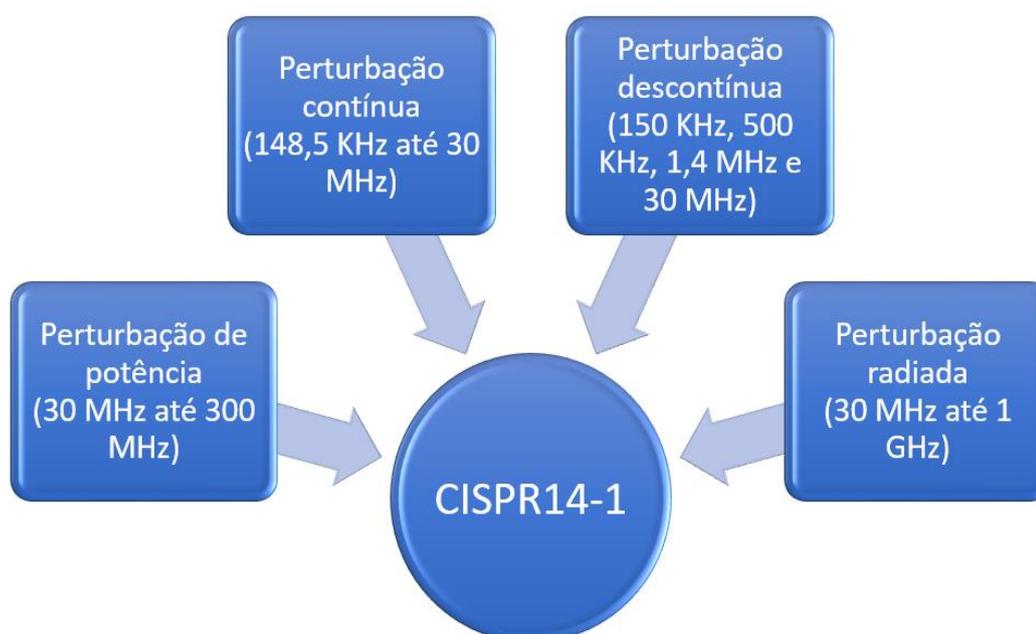
Produtos	Norma
Industrial, scientific and medical equipment - Radio-frequency disturbance characteristics - Limits and methods of measurement	CISPR 11
Vehicles, boats and internal combustion engines - Radio disturbance characteristics - Limits and methods of measurement for the protection of off-board receivers	CISPR 12
Electromagnetic compatibility - Requirements for household appliances, electric tools and similar apparatus	CISPR 14-1
Limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics of electrical lighting and similar equipment	CISPR 15
Electromagnetic compatibility of multimedia equipment - Emission requirements	CISPR 32

Fonte Própria

2.3 Norma CISPR 14-1

A norma CISPR 14-1 teve sua primeira versão elaborada em 1975 (CHINA COMPULSORY CERTIFICATION, 2018) e atualmente está na sexta versão, sendo a última revisão feita em 2016. Como é possível perceber, internacionalmente existe uma preocupação com as interferências eletromagnéticas em eletrodomésticos, desde muito tempo atrás. A CISPR 14-1 é uma norma que abrange equipamentos eletrodomésticos, ferramentas elétricas e aparelhos similares. A Figura 3 ilustra os ensaios dado na norma CISPR 14-1.

Figura 3. Ensaio da norma CISPR 14-1



A norma estabelece requisitos para ensaios conduzidos e ensaios radiados, sendo os ensaios conduzidos dividido em:

- Perturbação contínua: Avaliação das interferências eletromagnéticas geradas pela porta de alimentação dos equipamentos na faixa de frequência de 148,5 KHz até 30 MHz, onde os limites são dados em tensão, conforme ilustrado na Tabela 3.

Tabela 3. Limites de perturbação contínua

Aparelhos eletrodomésticos e equipamentos que causam perturbações similares e dispositivos semicondutores que incorporam controles de reguláveis						
Faixa de frequência	Terminais de Alimentação		Terminais de carga e terminais adicionais			
1	2	3	4	5		
(MHz)	dB (μ V) Quase Pico	dB (μ V) Médio	dB (μ V) Quase Pico	dB (μ V) Médio		
0,15 até 0,50	Decrementando linearmente com o logaritmo da frequência, sendo: 66 até 56 59 até 46		80	70		
0,50 até 5	56	46	74	64		
5 até 30	60	50	74	64		
Terminais de alimentação de Ferramentas						
1	6	7	8	9	10	11
Faixa de frequência	Potência nominal do motor que não excede 700 W		Potência nominal do motor acima de 700 W e que não excede 1000 W		Potência nominal do motor acima de 1000 W	
(MHz)	dB (μ V) Quase Pico	dB (μ V) Médio*	dB (μ V) Quase Pico	dB (μ V) Médio*	dB (μ V) Quase Pico	dB (μ V) Médio*
0,15 até 0,50	Decrementando linearmente com o logaritmo da frequência, sendo:					
	66 até 59	59 até 49	70 até 63	63 até 53	76 até 69	69 até 59
0,50 até 5	59	49	63	53	69	59
5 até 30	64	54	68	58	74	64

*Se o limite para medições com o detector de médio é atendido quando usando o *receiver* com o detector de quase pico, o equipamento sob ensaio deve ser considerado que atende aos dois limites e a medição usando o detector de médio não precisa ser realizada.

Fonte:(adaptado de INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMISSION, 2016)

- **Perturbação descontínua:** Avaliação das interferências eletromagnéticas geradas pela porta de alimentação na faixa de frequência de 148,5 KHz até 30 MHz, onde são utilizados os mesmos limites de perturbação contínua, porém é feita a avaliação de clicks, que é um impulso que excede o limite de quase pico da perturbação contínua, e através do método de quartil superior, onde são feitas as medidas em quatro frequências 150 KHz, 500 KHz, 1,4 MHz e 30 MHz. Desta forma, é determinada a quantidade de clicks por um determinado período de tempo e estes são calculados para serem incrementados no limite de perturbação contínua e é avaliado se, mesmo com o

incremento, ultrapassam o limite normativo. Esta perturbação é comum em operações de comutação em aparelhos termostáticos controlados, máquinas controladas com programas automáticos e outros aparelhos eletricamente controlados que geram distúrbios descontínuos.

Os ensaios radiados são divididos em dois ensaios:

- Perturbação de potência: Avaliação da potência radiada do cabo de alimentação, medida através de um alicate de acoplamento, na faixa de frequência de 30 MHz até 300 MHz. Os limites são ilustrados na Tabela 4.

Tabela 4. Limites de perturbação de potência

Limites de perturbação de potência para faixa de frequência de 30 MHz até 300 MHz								
1	Aparelhos eletrodomésticos e similares		Ferramentas					
	2	3	4	5	5	7	8	9
Faixa de frequência			Potência nominal do motor que não excede 700 W		Potência nominal do motor acima de 700 W e que não excede 1000 W		Potência nominal do motor acima de 1000 W	
(MHz)	dB (pW) Quase Pico	dB (pW) Médio ^a	dB (pW) Quase Pico	dB (pW) Médio ^a	dB (pW) Quase Pico	dB (pW) Médio ^a	dB (pW) Quase Pico	dB (pW) Médio ^a
30 até 300	Decrementando linearmente com o logaritmo da frequência, sendo:							
	45 até 55	35 até 45	45 até 55	35 até 45	49 até 59	39 até 59	55 até 65	45 até 55

*Se o limite para medições com o detector de médio é atendido quando usando o *receiver* com o detector de quase pico, o equipamento sob ensaio deve ser considerado que atende aos dois limites e a medição usando o detector de médio não precisa ser realizada.

Fonte:(adaptado de INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMISSION, 2016)

- Perturbação radiada: Avaliação do campo elétrico gerado pelo produto na faixa de frequência de 30 MHz até 1 GHz. A medição é realizada em um CSA ou em um OATS e a
- Tabela 5 descreve os limites normativos.

Tabela 5. Limites de perturbação radiada

Limites de perturbação radiada e métodos de ensaio para faixa de frequência de 30 MHz até 1000 MHz				
Método de Ensaio	Norma	Faixa de frequência	Limite dB μ V/m Quase Pico	Observação
OATS ou CSA	CISPR 16-2-3	30 – 230	30	Distância de medição de 10 m
		230 – 300	37	
		300 – 1000	37	

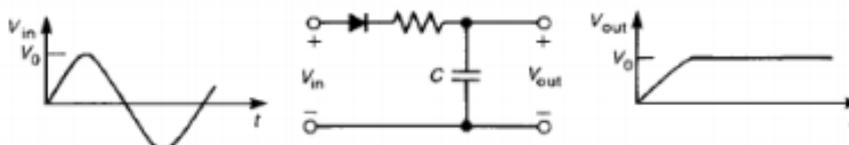
Fonte:(adaptado de INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMISSION, 2016)

2.3.1 Detectores de medição

A norma descreve três tipos de detectores de medição, são eles:

- **Detector de Pico:** O detector de pico é um detector de envoltória, porém utilizado para bandas estreitas. É um diodo que conduz apenas uma polaridade do sinal e o capacitor se carrega, mantendo o nível máximo. O resistor compõe a base de tempo estabelecendo a frequência de detecção. Desta forma o detector é capaz de captar todas as mudanças na envoltória do sinal. O princípio de funcionamento de um detector de pico típico está ilustrado na Figura 4 (GUIMARÃES, 2008).

Figura 4. Detector de Pico

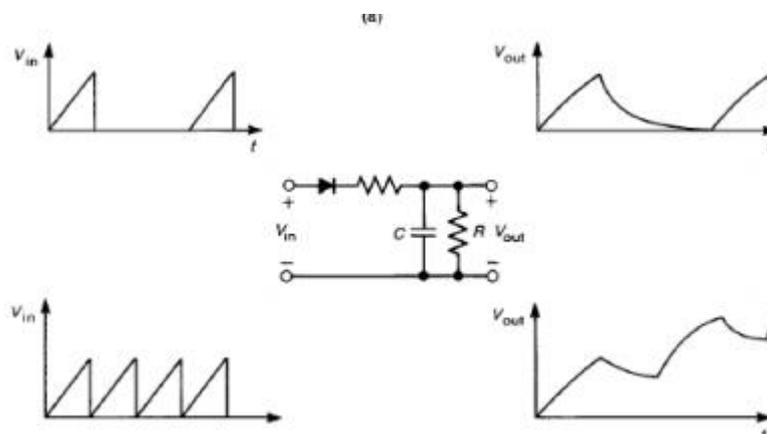


Fonte:(GUIMARÃES, 2008)

- **Detector de Quase pico:** O detector de quase pico foi definido através de um estudo da CISPR, que relacionou as interferências com o efeito das sensações auditivas à qualidade do som nos receptores AM, e se notou que a interferência aumentava, conforme sua taxa de repetição era aumentada, aproximando do detector de quase pico. Os detectores de quase pico funcionam de modo similar aos detectores de pico, mas são projetados para que o tempo de carregamento seja muito menor que o de descarga, de forma que quanto maior a taxa de repetição dos sinais, maior o nível detectado. O princípio de funcionamento de um

detector de quase pico típico está ilustrado na Figura 5 (BRONAUGH, 2018; GUIMARÃES, 2008).

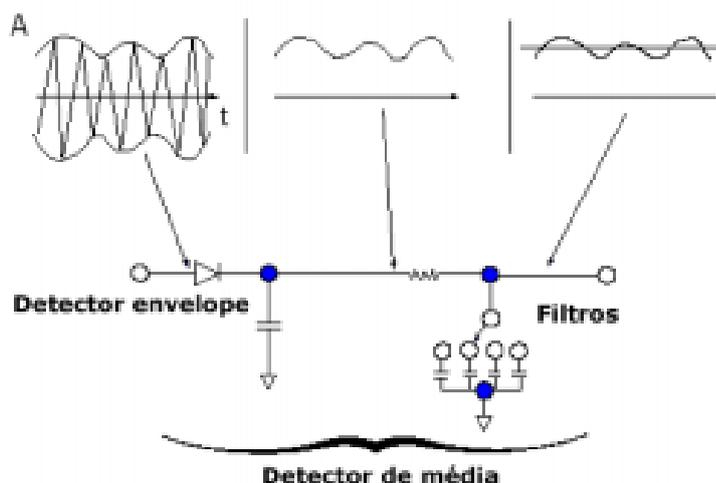
Figura 5. Detector de Quase Pico



Fonte:(GUIMARÃES, 2008)

- O detector de média tem características similares ao detector de pico. É composto por um detector de envoltória seguido por um conjunto de filtros, usualmente passa-baixa. Os filtros têm banda muito menor que a banda do detector de envoltória. Assim, os filtros detectam a média, ou seja, integram as componentes de alta frequência, conforme pode ser visualizado na Figura 6 (GUIMARÃES, 2008).

Figura 6. Detector de média



Fonte:(GUIMARÃES, 2008)

É importante destacar a diferença entre o analisador de espectro e o EMI receiver que é utilizado para realizar as medições de interferências eletromagnéticas, este possui um filtro de pré-seleção, e os detectores citados

acima, diferentemente do analisador de espectro. O analisador de espectro é utilizado para sinais de bandas estreitas, um exemplo deste é um sinal de onda contínua (CW), um sinal CW é um sinal em uma frequência fixa. Para medição das interferências, cujo sinal é de banda larga é necessário o EMI *receiver*, um exemplo de um sinal de banda larga é um sinal de pulso. Os detectores de pico, o quase pico e média renderão o mesmo nível de amplitude para um sinal de banda estreita. Um sinal de banda larga produzirá um nível de quase pico inferior ao nível máximo. A ponderação (contabilizada através de constantes de tempo de carga e descarga no circuito detector de quase pico) é uma função da frequência de repetição do sinal a ser medido. Quanto menor for a frequência de repetição, menor será o nível do quase pico.

2.4 Rede de sensores sem fio

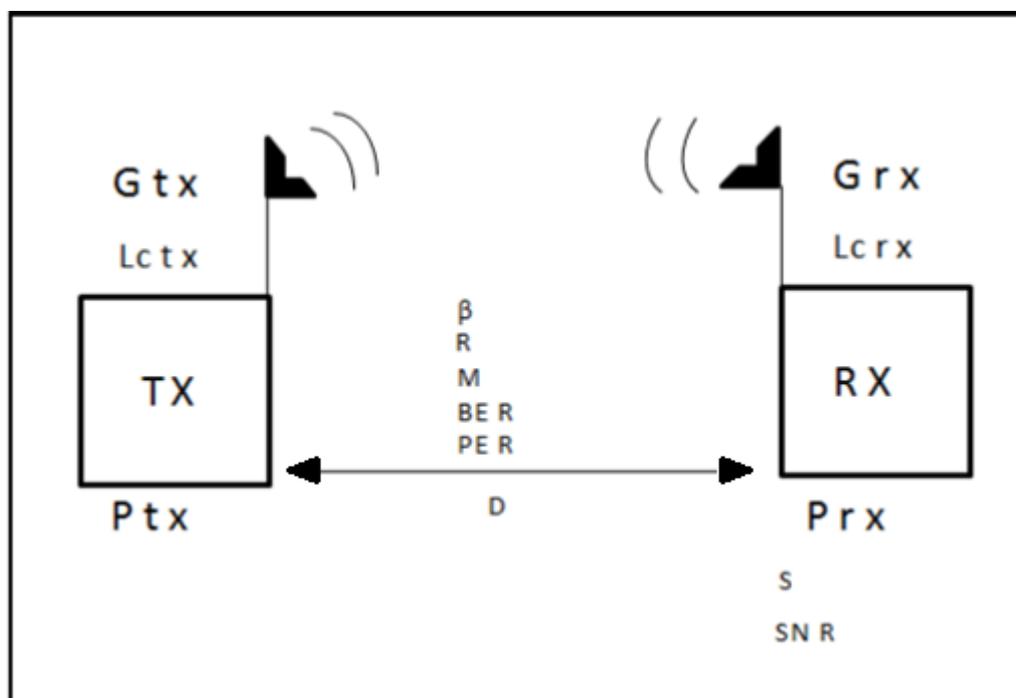
Conhecida como RSSF, esse tipo de rede surgiu há alguns anos e consiste em nós individuais capazes de interagir com o ambiente no qual estão inseridos, por meio de sensoriamento de parâmetros físicos. Em essência, os nós de uma rede de sensores sem fio possuem capacidade de processamento, ainda que reduzida, e realizam sensoriamento e comunicação em meio não cabeado.

As RSSF têm atraído grande atenção devido a sua aplicabilidade em campos como, aeronáutica, militar, indústria, transporte, agricultura, cidades inteligentes, logística, engenharia biomédica, monitoramento de ambientes, resposta a desastres e antiterrorismo (CARDOSO, 2015).

2.4.1 Sistema de comunicação

Para a formação de um RSSF é preciso se estabelecer um sistema de comunicação, o qual é formado a partir, basicamente, de um transmissor e um receptor, os quais possuem antenas, através das quais estabelecem um link de rádio para comunicar-se. A Figura 7 mostra o diagrama de um sistema de comunicação.

Figura 7. Diagrama de um sistema de comunicação



Fonte:(adaptado de CHAVES, 2016)

O diagrama (Figura 7) traz, além dos já citados, outros importantes elementos a serem considerados para o estabelecimento de uma comunicação, sendo esses:

- Ptx: Potência de transmissão;
- Gtx: Ganho da antena de transmissão;
- Lctx: Atenuação dos cabos de transmissão;
- D: Distância entre o transmissor e o receptor;
- β : Índice que caracteriza o ambiente;
- R: Taxa de transmissão entre os rádios;
- M: Modulação utilizada;
- BER: Taxa de erro de bit;
- PER: Taxa de erro de pacote;
- Prx: Potência de recepção;
- Grx: Ganho da antena de recepção;
- Lcrx: Atenuação dos cabos na recepção;
- S: Sensibilidade, sendo está o limiar da potência de recepção, para que se tenha uma BER específica, que pode ser verificada nas diferentes modulações;
- SNR: Relação sinal ruído, dada pelas suas respectivas potências.

Logo, nota-se que para o estabelecimento da comunicação, é necessária a combinação de muitas variáveis, as quais podem melhorar o sistema ou atenuá-lo a um nível que o leve a perda de conexão.

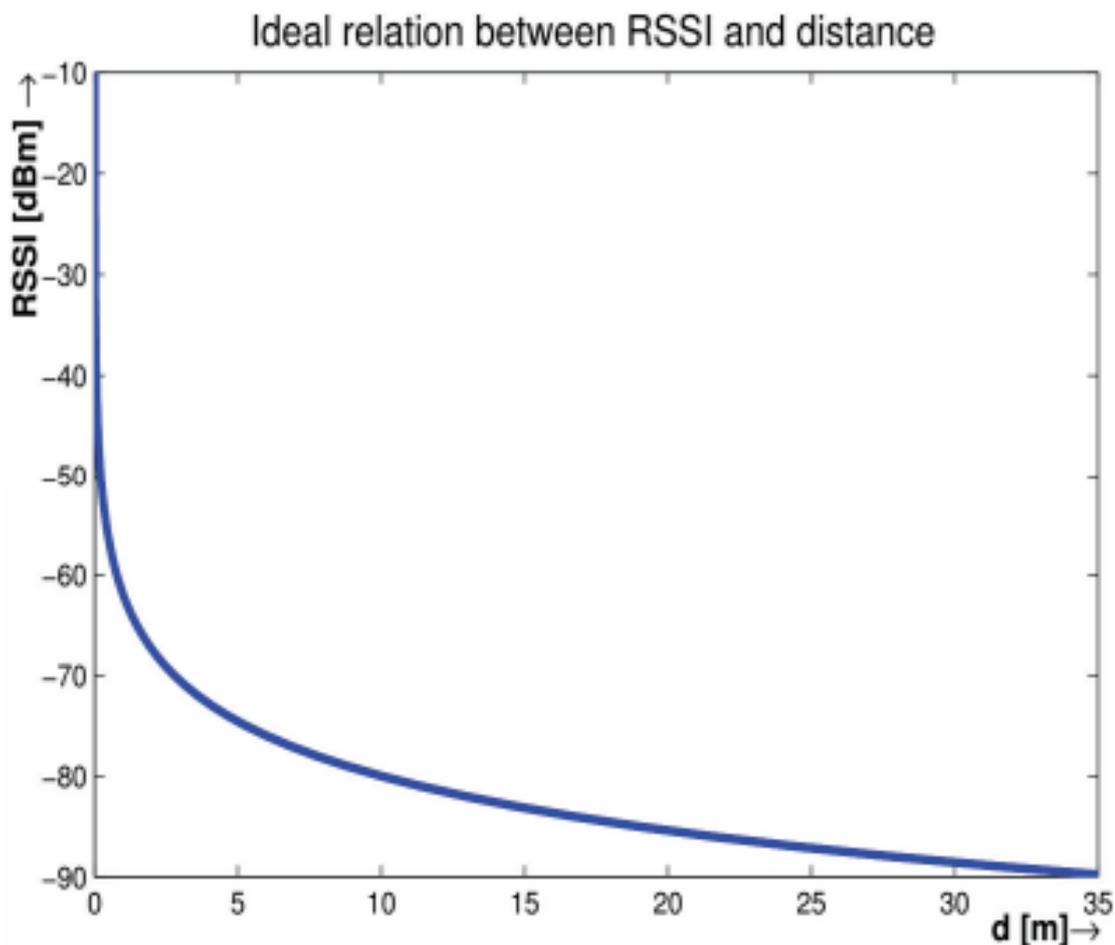
2.4.2 RSSI

O indicador da qualidade do link (*Link Quality Indicator - LQI*) estabelecido em uma RSSF é verificado, no presente trabalho, através do indicador de intensidade do sinal recebido, RSSI.

A RSSI, grandeza calculada em dBm, indica a potência em que o sinal de rádio foi transmitido ou recebido em um dado nó sensor. Assim, com esta medida de potência, é possível verificar quão afetado o sinal foi, por interferências, obstáculos, distância, entre outros, desde que deixou o transmissor para alcançar o receptor.

Em (BOTTA & SIMEK, 2013), mostra a relação considerada ideal, entre a RSSI e a distância de transmissor ao receptor, através da curva ilustrada na Figura 8.

Figura 8. Relação ideal entre RSSI e distância.



Fonte: (BOTTA & SIMEK, 2013)

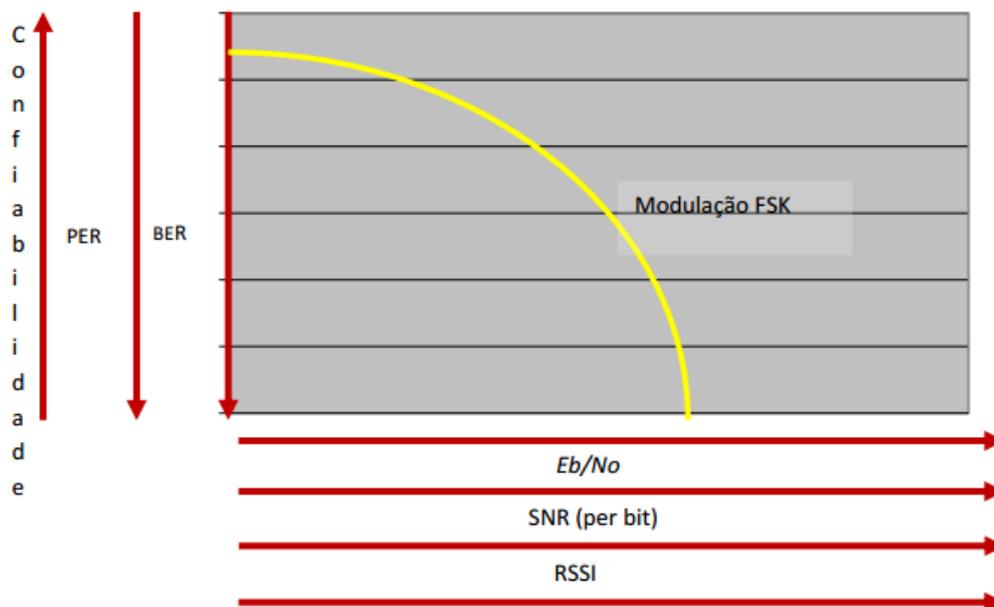
2.4.3 BER

Outra métrica utilizada para se determinar o nível de qualidade do sinal é a BER, dada pela equação (1), na qual a relação entre a energia do bit e a densidade espectral de potência é E_b/N_0 .

$$BER = \frac{1}{2} e^{E_b/2N_0} \quad (1)$$

A referência (CHAVES, 2016) traz um gráfico, Figura 9, que ilustra de maneira simplificada a relação entre as grandezas que indicam a qualidade da transmissão do sinal.

Figura 9. Relação entre BER e E_b/N_0



Fonte: (CHAVES, 2016)

Na Figura 9, tem-se:

- Confiabilidade: reúne além do nível de disponibilidade do sistema de comunicação, também o de integridade dos dados transmitidos e recebidos;
- PER: A taxa de erro de pacote também pode figurar como uma métrica de qualidade de transmissão;
- BER, E_b/N_0 , RSSI e SNR (já mencionados anteriormente);
- FSK: A *Frequency Shift Key* (FSK), a qual também será a utilizada no presente trabalho, trata-se da única modulação que permite flexibilidade entre a banda ocupada e a taxa, permitindo ocupações maiores de banda com menores taxas.

Como pode ser observado quanto maior a RSSI menor é a BER, e por consequência maior a confiabilidade da RSSF. O mesmo ocorre ao contrário quanto menor a RSSI maior é a BER que diminui a confiabilidade, isso pode ser ocasionado por uma interferência que pode aumentar a BER, e assim diminuir a confiabilidade de uma rede.

2.4.4 Internet das coisas em RSSF

Atualmente, a revolução tecnológica em evidência é a *Internet of Things* (Iot), que está emergindo como a maior tendência de desenvolvimento da tecnologia em diversos setores, desde o setor automotivo ao residencial. Seu principal objetivo, nada mais é que uma extensão da Internet atual, que proporciona aos objetos do dia-a-dia (quaisquer que sejam), mas com capacidade computacional e de comunicação, se conectarem à Internet. A conexão com a rede mundial de computadores viabilizará, primeiro, controlar remotamente os objetos e, segundo, permitir que os próprios objetos sejam acessados como provedores de serviços (AZZARA et al., 2013).

Como pode ser visualizado na Figura 10, todos os locais terão sensores que irão coletar dados do respectivo ambiente e armazená-los na Internet, onde usuários poderão acessá-los e atuar através destes dados.

Figura 10. Áreas de aplicação e usuários de IoT



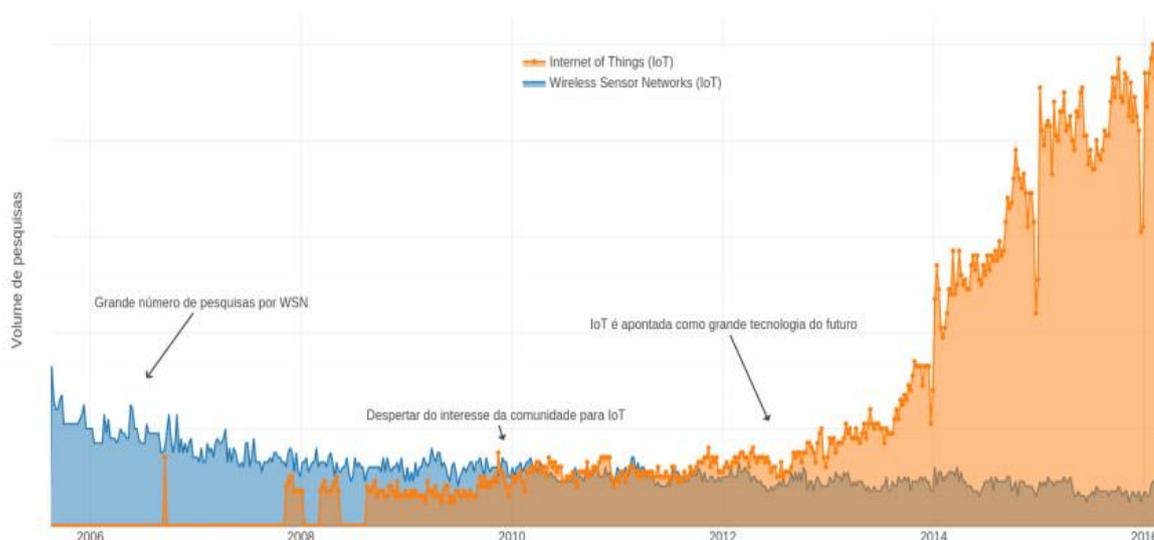
Fonte: modificado de (GUBBI, BUYYA, SLAVEN, & PALANISW, 2013)

Os benefícios que a Internet das coisas irá trazer para sociedade são muitos. Por exemplo, as pessoas idosas que apresentam um quadro de doença, estarão sendo monitoradas de sua própria casa pelos médicos, não havendo a necessidade de estarem diretamente presentes no hospital. Porém, dentro deste contexto, é necessário garantir a confidencialidade dos dados armazenados, para

que as vidas das pessoas não sejam expostas e, principalmente, garantir o funcionamento adequado dos diversos tipos de redes e seus respectivos sensores. Isso pois, em um caso de falha, poderá prejudicar a vida de uma pessoa idosa doente, como o exemplo citado. Logo, avaliar as perturbações eletromagnéticas é relevante frente ao exemplo, pois ela pode afetar o funcionamento da rede.

Por volta de 2005, o termo bastante procurado (tanto pela academia, quanto para a indústria) e que apresenta relação com a IoT, foi Redes de Sensores Sem Fio. Como pode ser visualizado na Figura 11, o volume de pesquisas no Google relacionadas a RSSF e IoT cresceu significativamente (SANTOS et al., 2016).

Figura 11. Volume de pesquisas no Google sobre Wireless Sensor Networks e Internet of Things



Fonte: (SANTOS et al., 2016)

A RSSF é amplamente discutida em Internet das coisas por ser uma implementação de baixo custo e com capacidade de atender diversas aplicações, em áreas tais como agrícola, automotiva, petróleo, dentre outras. Essas são sistemas que transmitem sinais por Rádio Frequência (RF), constituídas por uma central de processamento (conhecida como base ou nó sorvedouro) e dispositivos que medem grandezas físicas e atuam quando necessário. Estes são conhecidos como nó sensores, que podem englobar diversos tipos de transdutores (temperatura, umidade, luminosidade, qualidade do ar, etc) e atuadores (relés, displays, LEDs, etc (SANTOS et al., 2016).

Para a formação de um RSSF é preciso se estabelecer um sistema de comunicação, o qual é formado a partir, basicamente, de um transmissor e um receptor, os quais possuem antenas, através das quais estabelecem um link de rádio para comunicar-se. Alguns exemplos de tecnologia de RSSF são listados abaixo:

- ZigBee. O padrão ZigBee é baseado na especificação do protocolo IEEE 802.15.4 para a camada de enlace. As suas principais características são a baixa vazão, reduzido consumo energético e baixo custo. O ZigBee opera na frequência 2.4 GHz (faixa ISM), mas é capaz de operar em outras duas frequências, 868 MHz e 915 MHz. Essa tecnologia pode alcançar uma taxa máxima de 250 kbps, mas na prática se tem taxas inferiores (SANTOS et al., 2016);
- LoRaWan. A especificação LoRaWAN (*Long Range Wide Area Network*) foi projetada para criar redes de longa distância, numa escala regional, nacional ou global, formada por dispositivos alimentados por bateria e com capacidade de comunicação sem fio. A especificação LoRaWan trata de requisitos presentes na IoT como, comunicação segura e bi-direcional, mobilidade e tratamento de serviços de localização. Além disso, o padrão oferece suporte ao protocolo IPv6, a adaptação 6LoWPAN, e funciona sobre a topologia estrela 6. O fator atrativo do LoRAWAN é o seu baixo custo e a quantidade de empresas de hardware que o estão adotando. A taxa de comunicação alcança valores entre 300 bps a 50 kbps. O consumo de energia na LoRaWan é considerado pequeno, o que permite aos dispositivos se manterem ativos por longos períodos. A LoRaWANs utiliza a frequência ISM sub-GHz fazendo com que as ondas eletromagnéticas penetrem grandes estruturas e superfícies, a distâncias de 2 km a 5 km em meio urbano e 45 km no meio rural. Os valores de frequência mais usadas pelo LoRaWan são: 109 MHz, 433 MHz, 866 MHz e 915 MHz. A unidade de transmissão máxima adotado pelo padrão LoRaWAN é de 256 byte (SANTOS et al., 2016);
- Sigfox. O SigFox8 utiliza a tecnologia Ultra Narrow Band (UNB), projetada para lidar com pequenas taxas de transferência de dados.

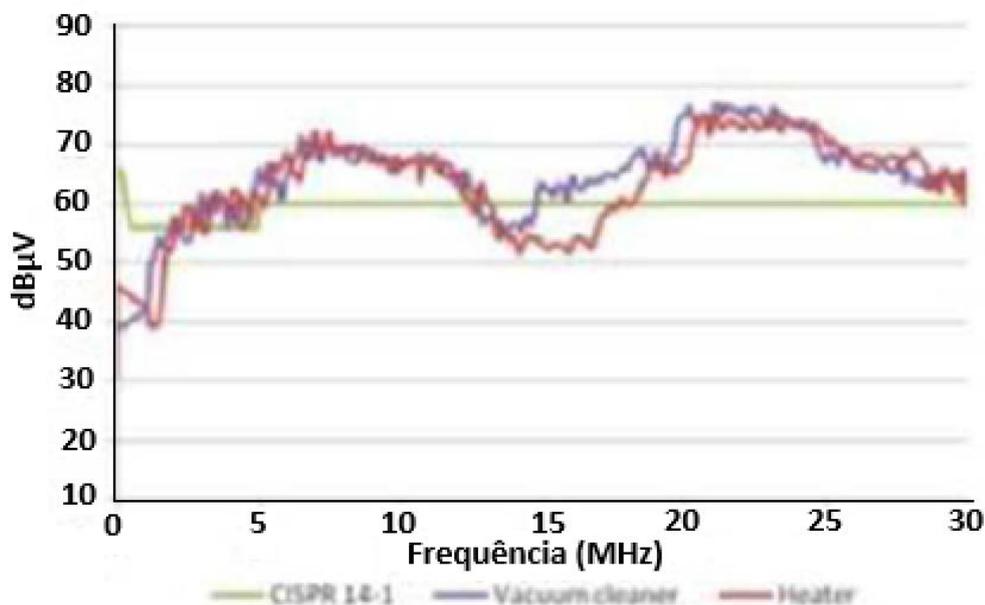
Essa tecnologia ainda é recente e já possui bastante aceitação, chegando a dezenas de milhares de dispositivos espalhados pela Europa e América do Norte. A SigFox atua como uma operadora para IoT, com suporte a uma série de dispositivos. A principal função é abstrair dificuldades de conexão e prover uma API para que os usuários implementem sistemas IoT com maior facilidade. O raio de cobertura oficialmente relatada, em zonas urbanas, está entre 3 km e 10 km e em zonas rurais entre 30 km a 50 km. A taxa de comunicação varia entre 10 bps e 1000 bps e a unidade de transmissão máxima utilizada é de 96 bytes. O SigFox possui baixo consumo de energia e opera na faixa de 900 MHz (SANTOS et al., 2016);

- BE900. 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 interferências e ruídos, ajustado para operar na banda não licenciada ISM de 915 MHz (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 (RADIOIT,2017).

2.5 Interferências Eletromagnéticas em serviços de telecomunicações

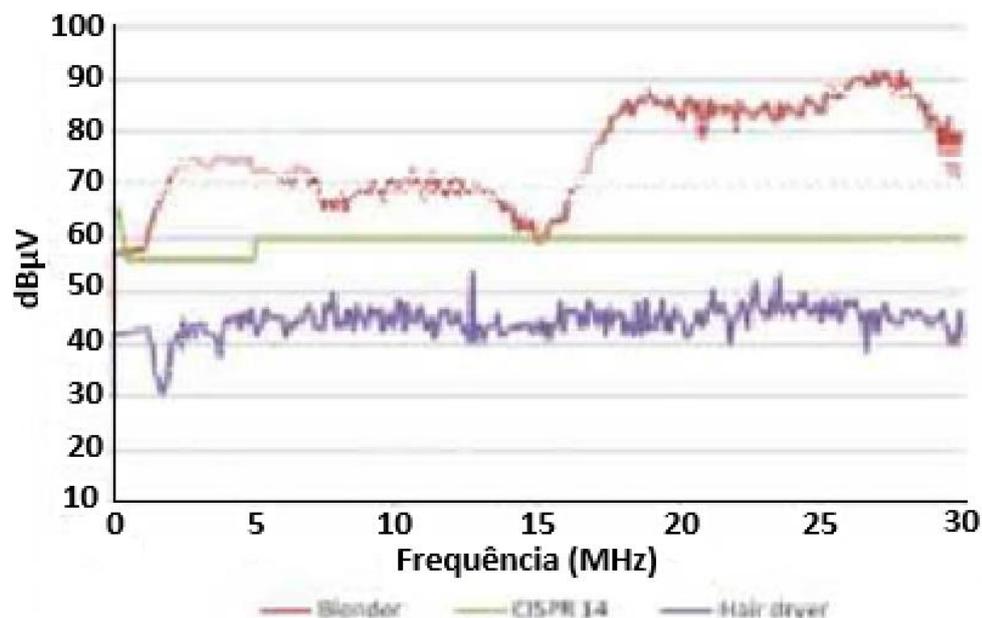
O autor (SOUSA et al., 2014) demonstra medidas realizadas, de perturbações eletromagnéticas conduzidas pelos terminais de alimentação em aparelhos eletrodomésticos, na frequência de até 30 MHz. Como pode ser observado na Figura 12 e Figura 13, os equipamentos não estão atendendo aos limites normativos (indicados como a linha verde na Figura 12 e Figura 13), dados pela CISPR 14-1. Em seu experimento, foram utilizados um aspirador de pó, um liquidificador, um aquecedor e um secador de cabelo, e apenas o secador atendeu aos limites normativos, sendo possível verificar que se não forem tratados os problemas das perturbações geradas pelos produtos, esses podem afetar o funcionamento das redes inteligentes (Smart Grids).

Figura 12. Resultados das medidas com aspirador de pó e aquecedor



Fonte:(modificado de SOUSA et al., 2014)

Figura 13. Resultados das medidas com liquidificador e secador de cabelo

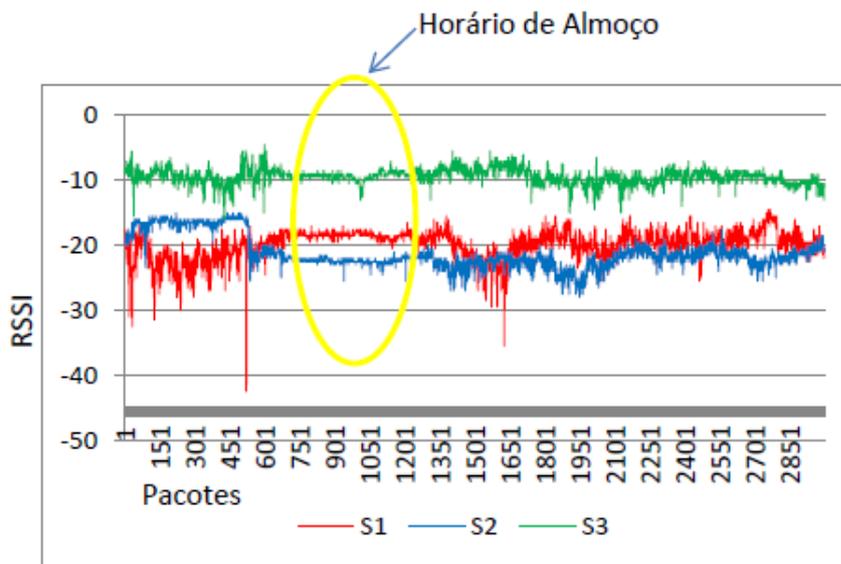


Fonte:(modificado de SOUSA et al., 2014)

Dentro do contexto de RSSF, alguns trabalhos indicaram diversas anomalias observadas nas medições da RSSI da rede, sendo, muitas vezes, justificadas como interferências eletromagnéticas geradas pelos equipamentos ao redor da rede. Um exemplo desta aplicação, pode ser demonstrado na Figura 14 pelo autor (CHAVES, 2016), onde o mesmo instalou uma RSSF em um ambiente industrial e no horário de almoço, quando os equipamentos foram desligados, a

RSSI medida apresentou estabilidade, demonstrando que possivelmente em outros horários os equipamentos estavam gerando interferências eletromagnéticas na rede e afetando a RSSI.

Figura 14. Medidas de RSSI na RSSF



Fonte:(CHAVES, 2016)

3 PROPOSTA

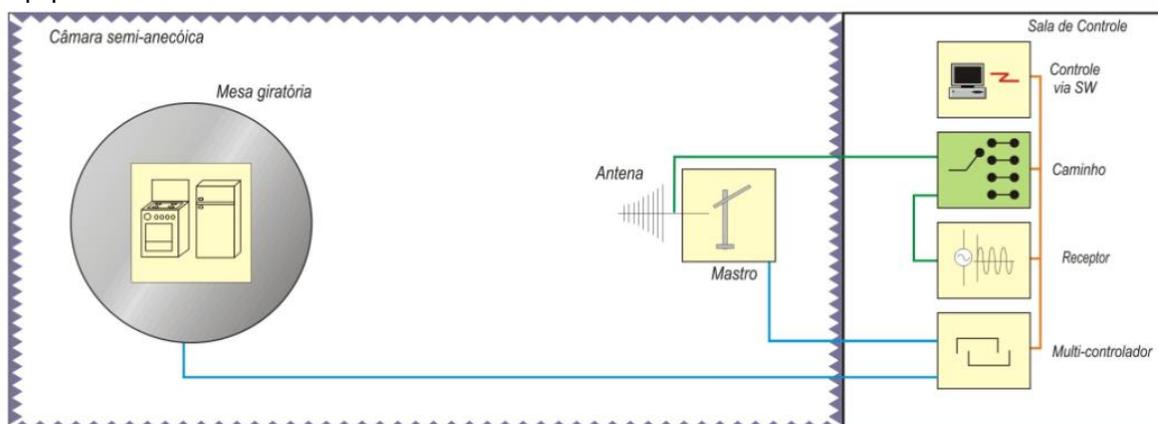
Como observado nos capítulos anteriores, no Brasil não há regulamentação estabelecida para equipamentos eletrodomésticos, quanto aos ensaios de EMI, o que pode ocasionar mau funcionamento dos sistemas de telecomunicações.

Com isso, o presente trabalho propõe avaliar um sistema de telecomunicações, a RSSF, quando um eletrodoméstico é acionado próximo à rede. Para isso, serão utilizadas três configurações de testes, todas elas serão feitas em uma Câmara Semi-Anecóica (CSA), sendo esta, um ambiente controlado no qual é possível garantir a repetibilidade das medidas. Primeiramente serão realizadas as medidas das emissões eletromagnéticas de equipamentos eletrodomésticos e, em segundo momento, a caracterização de uma RSSF e a análise de PER e RSSI. Feitas estas análises, a RSSF será avaliada quando ligada em conjunto com os equipamentos eletrodomésticos.

3.1 Medições das Perturbações Eletromagnéticas Radiadas – Equipamentos Eletrodomésticos

As medições das perturbações eletromagnéticas serão realizadas na faixa de 30 MHz até 1 GHz, conforme definido em requisito normativo (INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, 2016). Para avaliar os maiores níveis gerados pelo equipamento sob ensaio, o mesmo deve ser girado por 360° e a medição é realizada com a antena na polarização vertical e horizontal. O objetivo destas medições é avaliar a perturbação que os eletrodomésticos estão emitindo para o ambiente.

Figura 15. Configuração de ensaio para medidas das perturbações eletromagnéticas – Equipamentos Eletrodomésticos

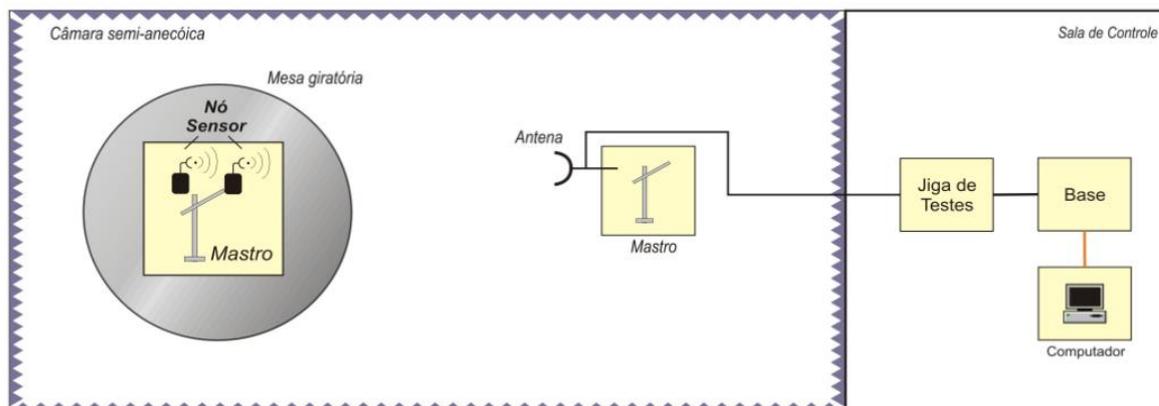


Fonte Própria

3.2 Caracterização da RSSF sem equipamentos eletrodomésticos

A RSSF, composta por uma base, um repetidor e um nó sensor, será caracterizada dentro da CSA quanto aos aspectos de PER e RSSI. Para isso os dados serão coletados por um computador, e um atenuador será utilizado para simular diferentes distâncias entre os nós sensores e a base.

Figura 16. Configuração de ensaio para caracterização da RSSF

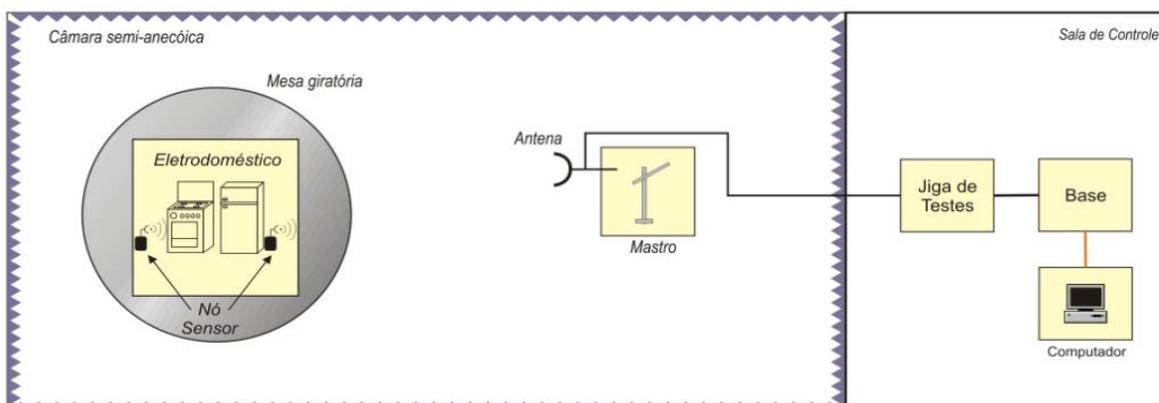


Fonte Própria

3.3 Avaliação das perturbações eletromagnéticas dos Equipamentos Eletrodomésticos com a RSSF

Caracterizadas as perturbações eletromagnéticas dos eletrodomésticos e a RSSF, ambos, eletrodoméstico e RSSF, serão colocados juntos no interior da CSA e assim medidos a RSSI e PER da rede nas distâncias pré-estabelecidas, para ser possível avaliar o quanto as perturbações eletromagnéticas dos eletrodomésticos podem afetar o funcionamento das RSSF. Desta forma será proposto um método de análise e possíveis adequações da rede, para assegurar o seu correto funcionamento.

Figura 17. Configuração de ensaio para caracterização da RSSF com os Eletrodomésticos



Fonte Própria

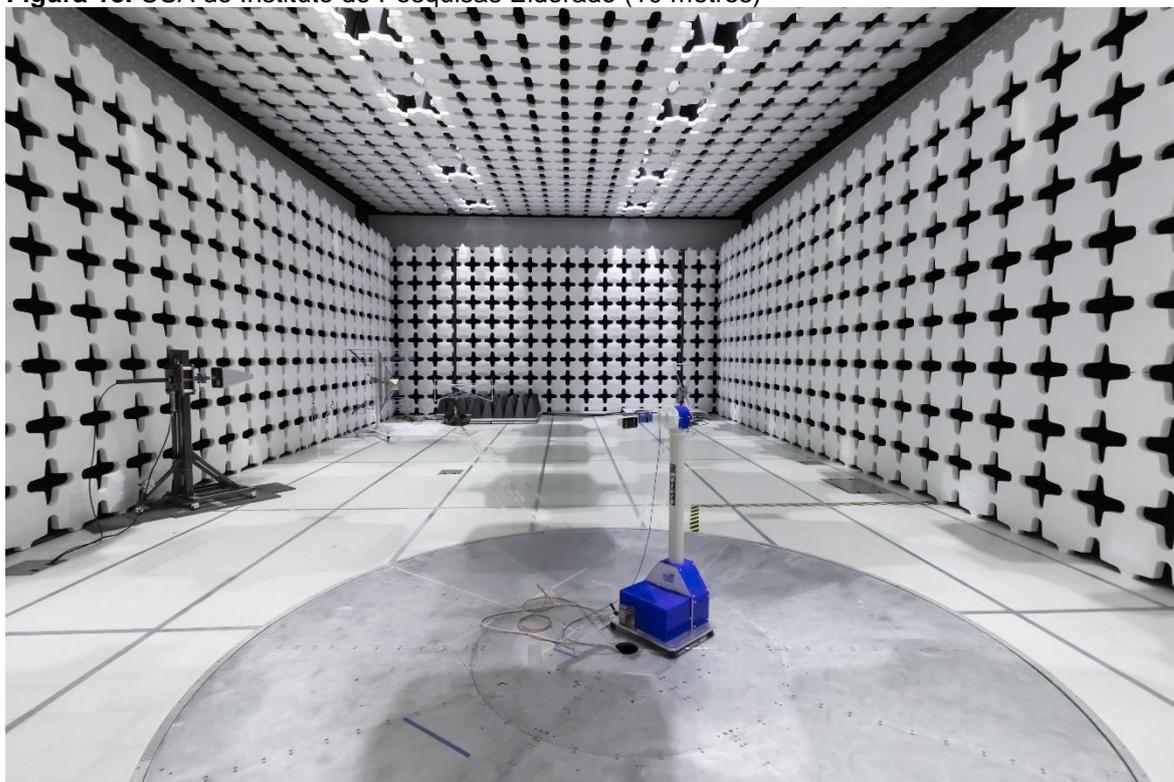
4 MATERIAL

4.1 Câmara Semi-Anecóica

A CSA tem o objetivo de simular um ambiente aberto, onde não há reflexão eletromagnética, que por definição (INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, 2010a) é uma caixa blindada onde cinco das seis superfícies internas são revestidas com material de absorção de energia de radiofrequência (isto é, absorvedor de RF) que absorve energia eletromagnética na faixa de frequência de interesse e a superfície horizontal inferior é um plano de terra condutor, além disso ela atenua os sinais eletromagnéticos externos, sendo possível medir somente as perturbações eletromagnéticas geradas pelo equipamento sob ensaio.

A CSA utilizada é do fabricante ETS-LINDGREN (Figura 18), com operação nas frequências de 9 KHz até 220 GHz, possui uma mesa giratória que varia de 0° até 360°.

Figura 18. CSA do Instituto de Pesquisas Eldorado (10 metros)

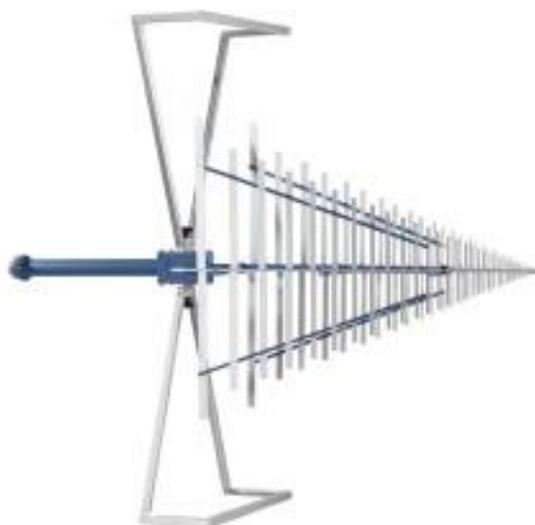


Fonte Própria

4.2 Antena para medição eletromagnética

Para realizar as medições das perturbações eletromagnéticas de 30 MHz até 6 GHz, será utilizado a antena UltraLog (Figura 19), modelo HL562E, que opera 30 até 6000 MHz, cujas as especificação técnicas da Tabela 6 (ROHDE&SCHWARZ,2018).

Figura 19. Antena ultradLog



Fonte: (ROHDE&SCHWARZ,2018)

Tabela 6. Especificações técnicas da Antena UltraLog

Frequência de Operação	30-6000 MHz
Impedância de Entrada	50 Ω
VSWR	Médio de 2:1
CW power input	30 MHz - 225 W 80 MHz - 900 W 250 MHz - 750 W 1 GHz - 420 W 3 GHz - 270 W 6 GHz - 150 W
Conector	N fêmea

Fonte: (ROHDE&SCHWARZ,2018)

Para realizar as medições das perturbações eletromagnéticas de 2 GHz até 6 GHz, será utilizado a antena Double-Ridged Guide (Figura 20), modelo 3117, que opera 1 até 18 GHz, cujas as especificação técnicas da Tabela 6.

Figura 20. Antena Double-Ridged Guide



Fonte:(ETS-LINDGREN, 2018)

Tabela 7. Especificações técnicas da Antena Double-Ridged Guide

Frequência de Operação	1-18 GHz
Impedância de Entrada	50 Ω
VSWR	Máximo de 3.5:1
CW power	300 W
Conector	N fêmea

Fonte:(ETS-LINDGREN, 2018)

4.3 Medidor de perturbação eletromagnética

EMI *test Receiver*, medidor da empresa Rohde & Schwarz, **ESIB 40 EMI test Receiver** (Figura 21) (ROHDE&SCHWARZ,2017).

Figura 21. ESIB 40 EMI test receiver



Fonte: (ROHDE&SCHWARZ,2017)

Combina alta sensibilidade, larga faixa dinâmica e seletividade e flexibilidade para utilizar o equipamento como um analisador de espectro. Opera na faixa de frequência de 20 Hz a 40 GHz. A largura de banda é selecionável de 200 Hz, 9 KHz, 120 KHz e 1 MHz, conforme solicitado pela norma IEC CISPR 16-1 (INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, 2010a). Possui detectores de pico, média e quase pico.

4.4 Módulo Rádio

Devido a importância da RSSF no avanço da tecnologia de IoT, neste trabalho será utilizada uma RSSF homologada pela Anatel, BE900, para avaliar o comportamento da mesma, frente a um ambiente eletromagnético residencial.

O rádio BE900 (RADIOIT,2017), Figura 22, é um módulo de comunicação sem fio com microcontrolador e transceptor integrados, que possibilita aplicações de monitoração e controle, podendo ser totalmente programado. O mesmo utiliza o processador AVR Atmega328 (ATMEL, 2016) e o transceptor TI CC1101 RF (TEXAS INSTRUMENTS,2017) com filtro passa-faixa, para maior sensibilidade e imunidade a interferência e ruído, ajustado para operar na banda não licenciada ISM de 915 MHz sendo sua faixa de 902 a 928 MHz (RADIOIT,2017). A Tabela 8 mostra suas principais características técnicas.

Tabela 8. Especificações técnicas do módulo BE900

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

Fonte: (RADIOIT,2017)

Figura 22. BE900 Módulo de comunicação sem fio



Fonte: (RADIOIT,2017)

4.4.1 Processador ATmega328

O Microcontrolador ATmega328, é utilizado para controlar a base e nós sensores, tendo suas principais características descritas na Tabela 9.

Tabela 9. Especificações técnicas do Microcontrolador ATmega328

Microcontrolador	ATmega328
Tensão de alimentação	5 V
Digital I / O Pins	14
Pinos de entrada analógica	6
Corrente DC por I / O Pin	40 mA
Corrente DC por I / O Pin	50 mA
Memória flash	32 KB
SRAM	2 KB
<i>Clock</i>	16 MHz

Fonte: adaptado de (NAIK & H, 2014)

4.4.2 Transceptor CC1101

O CC1101 é um transceptor de baixo consumo de energia, projetado para utilização em vários tipos de aplicações sem fio. Dentre essas, seu circuito é destinado, principalmente, para as que utilizam a faixa ISM de 915 MHz, podendo ser programado para outras frequências e modulações (TEXAS INSTRUMENTS, 2017).

4.5 Atenuadores

Serão utilizados dois atenuadores variáveis para diminuir o nível de potência do sinal no enlace de rádio de modo a trabalhar próximo a sensibilidade de potência da RSSF. Sendo o atenuador, modelo 50R-029 (Figura 23), que opera de 0 até 70 dB de atenuação com passos 10 dB, com uma exatidão de 0,5 dB (Figura 24) (JFW INDUSTRIES,2017a) já o atenuador, modelo 50R-019, que opera de 0 até 10 dB com passos de 1 dB, com uma exatidão de 0,2 dB (JFW INDUSTRIES,2017b).

Figura 23. Atenuador modelo 50R-029



Fonte Própria

Figura 24. Atenuador modelo 50R-019



Fonte Própria

4.6 Equipamentos Eletrodomésticos

Os equipamentos eletrodomésticos utilizados foram, um forno micro-ondas com tensão de alimentação de 220 Vac, uma geladeira com tensão de alimentação de 127 Vac, um liquidificador com tensão de alimentação de 220 Vac e outro com 127 Vac e também um aspirador de pó, com tensão de alimentação de 127 Vac. Estes equipamentos foram escolhidos por serem típicos em ambientes residenciais e por estarem disponíveis para realização das medições.

5 MÉTODO

Neste capítulo serão apresentados os métodos utilizados para a realização deste trabalho, onde foi necessário validar o ambiente de teste, CSA, e caracterizar os atenuadores. Após estas validações foram realizadas as análises da RSSF, sem e com a presença dos eletrodomésticos.

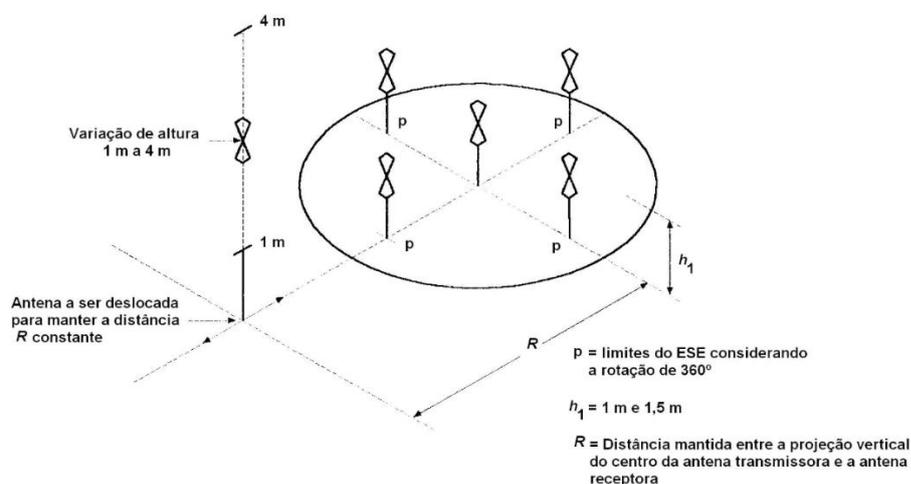
5.1 Validação da CSA

Para realizar a validação da CSA, foi utilizado o documento ABNT NBR IEC/CISPR 22. A validação tem o objetivo garantir que atenuação da CSA está atendendo o limite de ± 4 dB, quando comparado com a atenuação calculada, também chamada de normalizada. Isso é feito, para garantir a rastreabilidade dos resultados, tendo em vista que o limite normativo foi estabelecido com estas atenuações.

Para realizar a medição de atenuação, são utilizadas as configurações da Figura 25 e Figura 26, onde um sinal é gerado pela antena de transmissão, nos pontos pré-determinados, simulando o equipamento sob teste na área de medição, e medido este nível gerado na antena de medição, cuja altura é variada de 1 até 4 metros. As medidas são feitas com as antenas na polarização vertical e horizontal e de 30 MHz até 1 GHz.

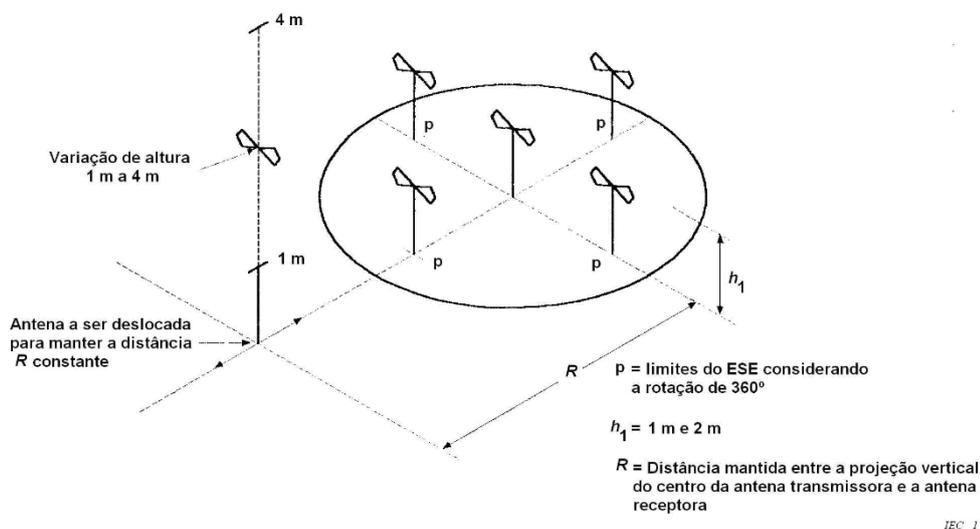
Após a medição, o caminho onde são conectados os cabos das antenas, gerador e medidor são fechados, de modo a se encontrar suas respectivas atenuações. O objetivo desta medição é desconsiderar os cabos, tendo em vista que deseja-se obter somente atenuação da CSA.

Figura 25. Validação da CSA para polarização Vertical



IEC 130293

Figura 26. Validação da CSA para polarização Horizontal



Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013)

Após as duas medidas realizadas, é utilizada a equação (2) para determinar a atenuação da CSA (INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, 2010a).

$$A_{csa} = M_c - M_{site} - F_{atx} - F_{arx} - I_m \quad (2)$$

Na equação 2, A_{csa} é a atenuação da CSA, M_c é a medição da atenuação do caminho, M_{site} é a mediação de atenuação com as antenas, F_{atx} é o fator da antena de transmissão, F_{arx} é o fator da antena de recepção e I_m é a impedância mútua (dada pela norma CISPR16-1-4), conforme Figura 29.

Figura 27. Impedância mútua normativa

ΔF_{aTOT} - Total correction factor in decibels		
f_M MHz	Horizontal polarization $d = 3 \text{ m}$ $h_1 = 2 \text{ m}$ $h_2 = 1 \text{ m to } 4 \text{ m}$	Vertical polarization $d = 3 \text{ m}$ $h_1 = 2,75 \text{ m}$ $h_2 = (\text{see Table E.3})$
30	3,1	2,9
35	4,0	2,6
40	4,1	2,1
45	3,3	1,6
50	2,8	1,5
60	1,0	2,0
70	-0,4	1,5
80	-1,0	0,9
90	-1,0	0,7
100	-1,2	0,1
120	-0,4	-0,2
125	-0,2	-0,2
140	-0,1	0,2
150	-0,9	0,4
160	-1,5	0,5
175	-1,8	-0,2
180	-1,0	-0,4

Fonte: (INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, 2010b)

A atenuação medida da CSA para cada frequência, altura das antenas e polarização é comparada com valores normalizados, dados na Tabela 10. Em azul indica a distância medida que foi de 10 metros.

Tabela 10. Atenuação normalizada do local (A_N (dB)) para geometrias recomendadas com antenas faixa larga

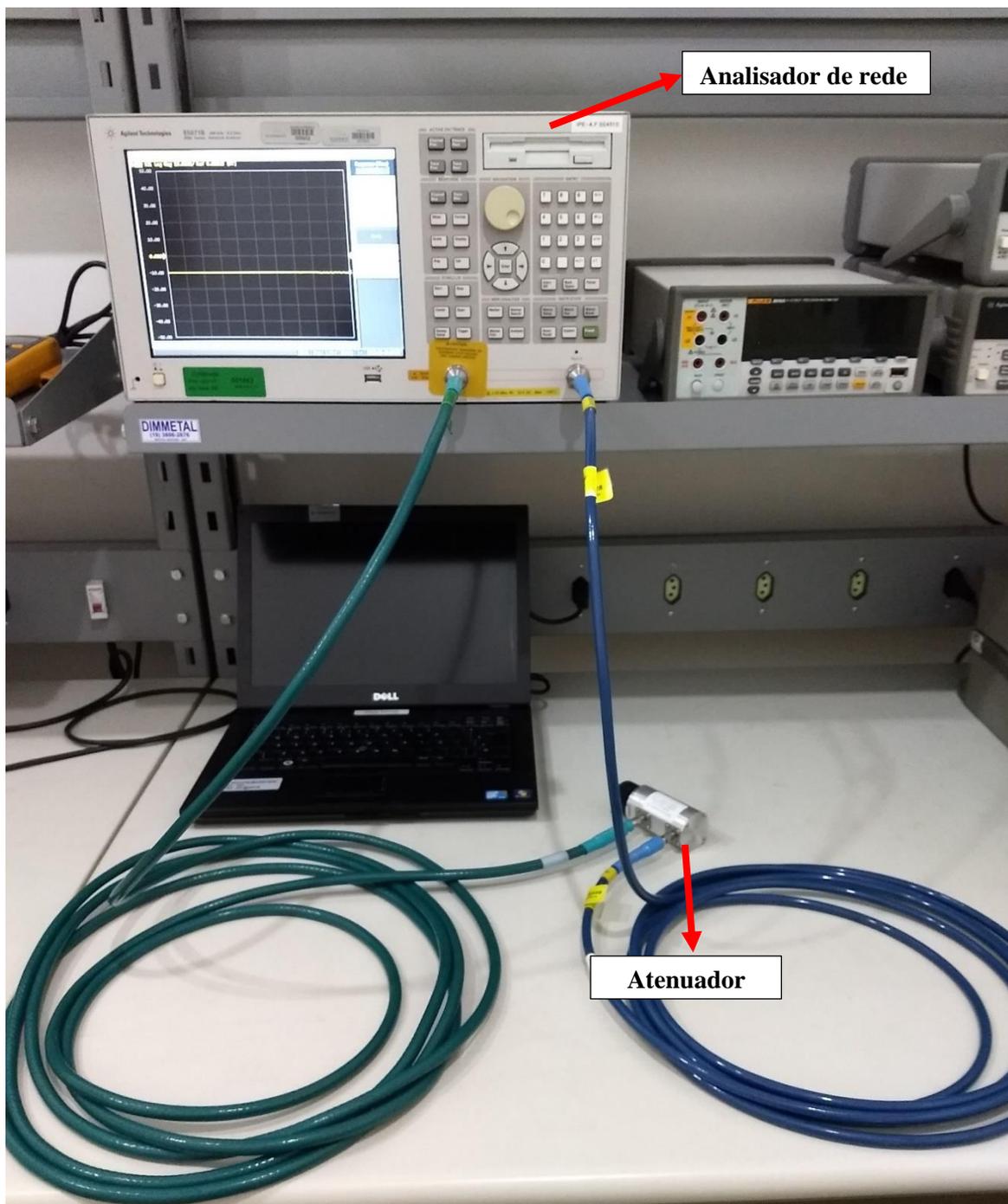
Polarização	Horizontal						Vertical				
	3	3	10	10	30	30	3	3	10	10	30
R (m)	3	3	10	10	30	30	3	3	10	10	30
h_1 (m)	1	2	1	2	1	2	1	1,5	1	1,5	1
h_2 (m)	1 a 4	1 a 4	1 a 4	1 a 4	1 a 4	1 a 4	1 a 4	1 a 4	1 a 4	1 a 4	1 a 4
f (MHz)	A_N (dB)										
30	15,8	11,0	29,8	24,1	47,7	41,7	8,2	9,3	16,7	16,9	26,0
35	13,4	8,8	27,1	21,6	45,0	39,1	6,9	8,0	15,4	15,6	24,7
40	11,3	7,0	24,9	19,4	42,7	36,8	5,8	7,0	14,2	14,4	23,5
45	9,4	5,5	22,9	17,5	40,7	34,7	4,9	6,1	13,2	13,4	22,5
50	7,8	4,2	21,1	15,9	38,8	32,9	4,0	5,4	12,3	12,5	21,6
60	5,0	2,2	18,0	13,1	35,7	29,8	2,6	4,1	10,7	11,0	20,0
70	2,8	0,6	15,5	10,9	33,0	27,2	1,5	3,2	9,4	9,7	18,7
80	0,9	-0,7	13,3	9,2	30,7	24,9	0,6	2,6	8,3	8,6	17,5
90	-0,7	-1,8	11,4	7,8	28,7	23,0	-0,1	2,1	7,3	7,6	16,5
100	-2,0	-2,8	9,7	6,7	26,9	21,2	-0,7	1,9	6,4	6,8	15,6
120	-4,2	-4,4	7,0	5,0	23,8	18,2	-1,5	1,3	4,9	5,4	14,0
125	-4,7	-4,7	6,4	4,6	23,1	17,6	-1,6	0,5	4,6	5,1	13,6
140	-6,0	-5,8	4,8	3,5	21,1	15,8	-1,8	-1,5	3,7	4,3	12,7
150	-6,7	-6,3	3,9	2,9	20,0	14,7	-1,8	-2,6	3,1	3,8	12,1
160	-7,4	-6,7	3,1	2,3	18,9	13,8	-1,7	-3,7	2,6	3,4	11,5
175	-8,3	-6,9	2,0	1,5	17,4	12,4	-1,4	-4,9	2,0	2,9	10,8
180	-8,6	-7,2	1,7	1,2	16,9	12,0	-1,3	-5,3	1,8	2,7	10,5
200	-9,6	-8,4	0,6	0,3	15,2	10,6	-3,6	-6,7	1,0	2,1	9,6
250	-11,7	-10,6	-1,6	-1,7	11,6	7,8	-7,7	-9,1	-0,5	0,3	7,7
300	-12,8	-12,3	-3,3	-3,3	8,7	6,1	-10,5	-10,9	-1,5	-1,9	6,2
400	-14,8	-14,9	-5,9	-5,8	4,5	3,5	-14,0	-12,6	-4,1	-5,0	3,9
500	-17,3	-16,7	-7,9	-7,6	1,8	1,6	-16,4	-15,1	-6,7	-7,2	2,1
600	-19,1	-18,3	-9,5	-9,3	0,0	0,0	-16,3	-16,9	-8,7	-9,0	0,8
700	-20,6	-19,7	-10,8	-10,6	-1,3	-1,4	-18,4	-18,4	-10,2	-10,4	-0,3
800	-21,3	-20,8	-12,0	-11,8	-2,5	-2,5	-20,0	-19,3	-11,5	-11,6	-1,1
900	-22,5	-21,8	-12,8	-12,9	-3,5	-3,5	-21,3	-20,4	-12,6	-12,7	-1,7
1 000	-23,5	-22,7	-13,8	-13,8	-4,5	-4,5	-22,4	-21,4	-13,6	-13,6	-3,6

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013)

5.2 Caracterização dos Atenuadores

Os atenuadores foram caracterizados utilizando um analisador de redes, modelo E5071B, da Agilent Technologies, configurado para o parâmetro S21 na faixa de frequência de 400 MHz até 1000 MHz, conforme pode ser visto na Figura 28.

Figura 28. Caracterização dos atenuadores



Fonte Própria

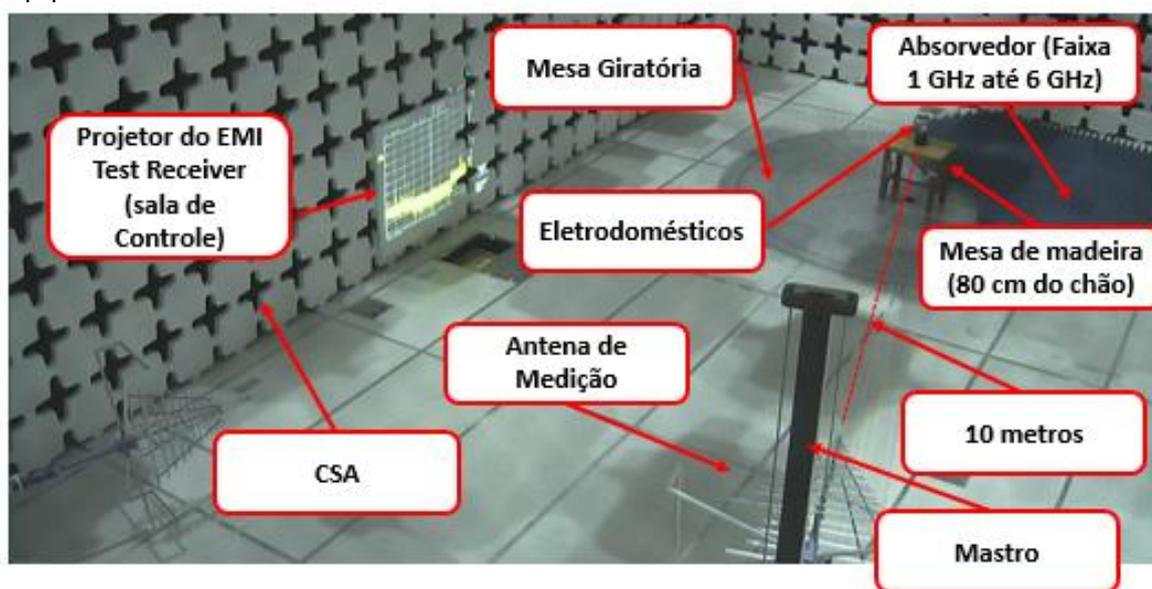
5.3 Medições das Perturbações Eletromagnéticas Radiadas – Equipamentos Eletrodomésticos

Para a realização das medições das perturbações eletromagnéticas radiadas, os eletrodomésticos foram posicionados sobre uma mesa de madeira, com uma distância de 80 cm em relação ao chão. A mesa ficou sobre a mesa giratória (*turn table*) para que houvesse uma distância de 10 metros da antena de medição, conforme pode ser observado nas Figura 29, Figura 30 e Figura 31.

As medidas foram realizadas na faixa de frequência de 30 MHz até 1 GHz, conforme requisito normativo dado na CISPR 14-1. Antes das medições foi realizada uma análise de ruído de fundo, para garantir que não havia interferências oriundas de outros sistemas, que não os eletrodomésticos. As varreduras das medições foram feitas com a antena variando de 1 até 4 metros de altura e nas posições vertical e horizontal e o eletrodoméstico girando 360 °.

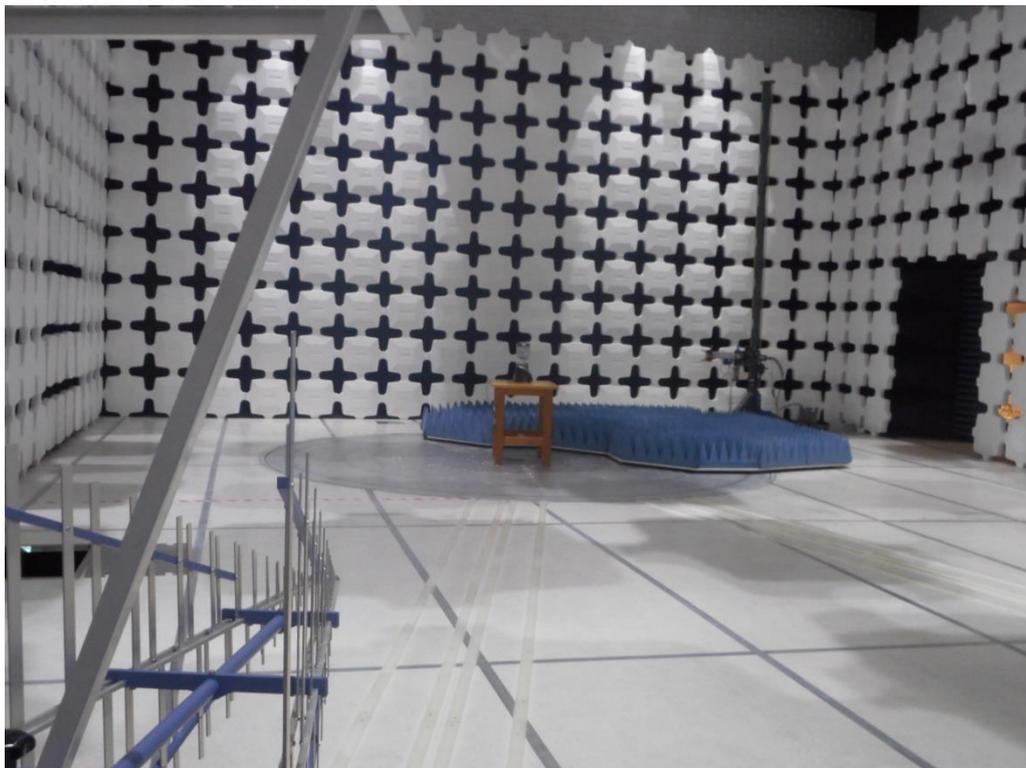
Primeiramente foram realizadas as medições utilizando o detector de pico, sendo realizadas as medidas finais de quase pico, apenas nos picos acima do limite e próximos das frequências de RSSF, 433 MHz e 915 MHz, conforme descrito no fluxograma da Figura B.1 da norma ABNT NBR IEC/CISPR 22 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013). Para realização destas medições, foi utilizado o software EMC32, software do fabricante Rohde & Schwarz.

Figura 29. Configuração de ensaio para medidas das perturbações eletromagnéticas – Equipamentos Eletrodomésticos - Cima



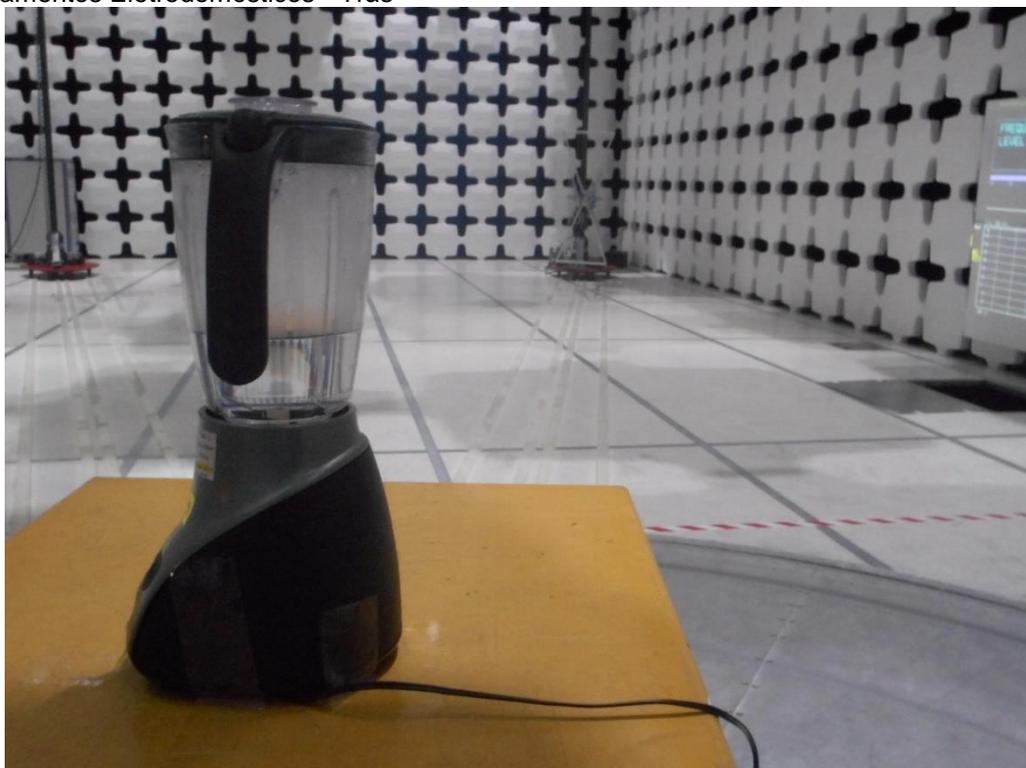
Fonte Própria

Figura 30. Configuração de ensaio para medidas das perturbações eletromagnéticas – Equipamentos Eletrodomésticos - Frente



Fonte Própria

Figura 31. Configuração de ensaio para medidas das perturbações eletromagnéticas – Equipamentos Eletrodomésticos - Trás

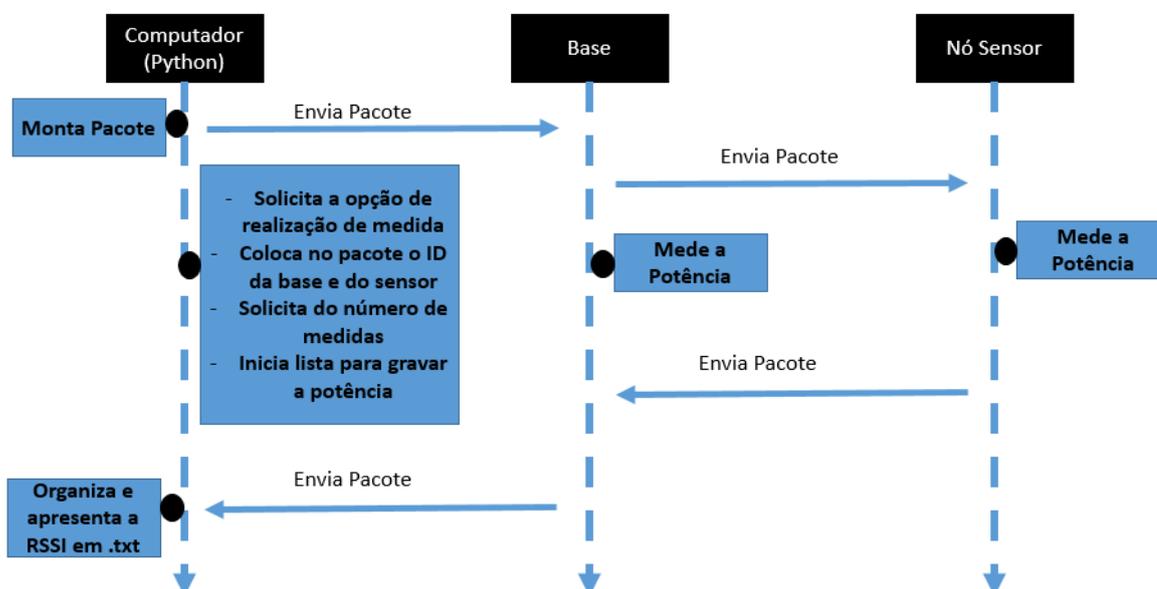


Fonte Própria

5.4 Avaliação da RSSF sem equipamentos eletrodomésticos

Para avaliar a RSSF, composta por uma base e um nó sensor, foi criado um código utilizando a linguagem de programação Python, onde através de um pacote de 52 bytes enviado pela serial, conexão USB do computador com a Base, é feito o processo de envio do pacote, que coleta a potência do nó sensor e avalia a RSSI, tanto de uplink quanto de downlink, bem como a PER, ou seja, quantos pacotes foram perdidos na comunicação de rádio. As Figura 32 e Figura 33 exemplificam, respectivamente, o diagrama temporal e um trecho do software que demonstra a coleta final das medidas.

Figura 32. Diagrama temporal do método de coleta de dados



Fonte Própria

Figura 33. Parte do código Python para coleta de RSSI

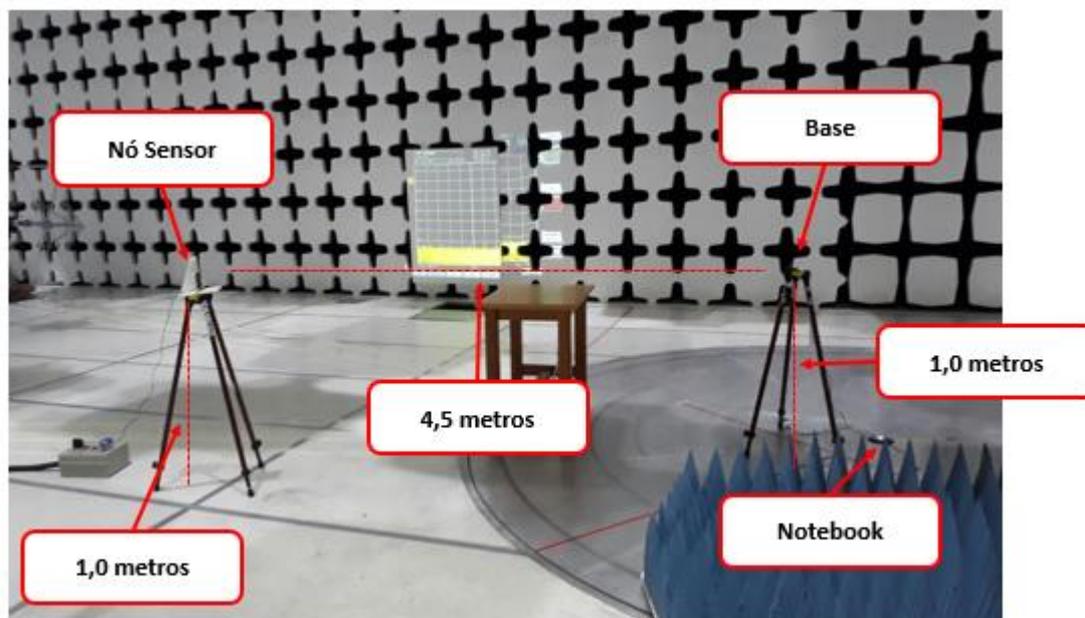
```
print'Número do pacote = ',count, 'RSSI DownLink = ', RSSId, ' RSSI UpLink ', RSSI
print >>S,time.asctime(),' Número do pacote = ',count, 'RSSI DownLink = ', RSSId, ' RSSI UpLink ', RSSIu
```

Fonte Própria

Após a execução do *software*, a RSSF foi colocada dentro da CSA para que fossem efetuadas as medições de RSSI e PER, e avaliar sem os eletrodomésticos o comportamento da rede em ambiente controlado, conforme pode ser visualizado Figura 34. Os atenuadores foram inseridos antes da base, para que fosse possível avaliar a rede no seu nível de sensibilidade. O computador para coleta dos dados foi colocado embaixo do piso da CSA, para não influenciar

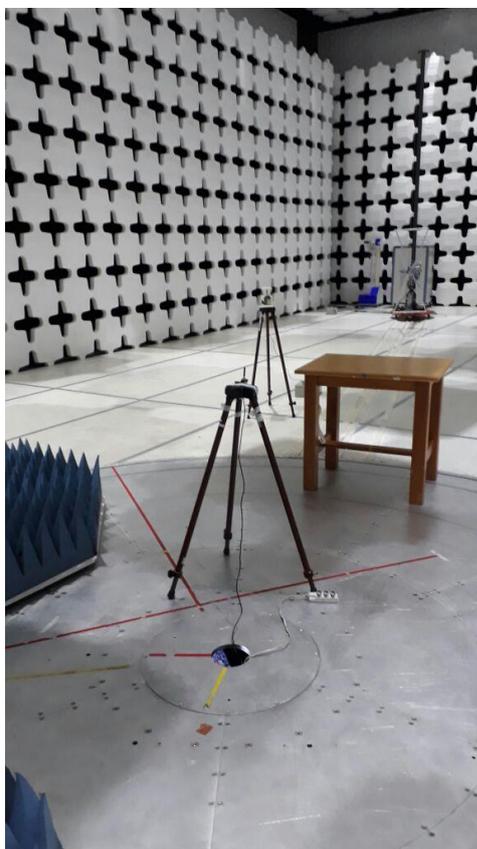
nas medições. A distância entre a base e o nó sensor foi de aproximadamente 4,5 metros, e colocados em um tripé a 1 metro do chão.

Figura 34. Configuração da RSSF na CSA sem eletrodomésticos – vista lateral



Fonte Própria

Figura 35. Configuração da RSSF na CSA sem eletrodomésticos – vista frontal

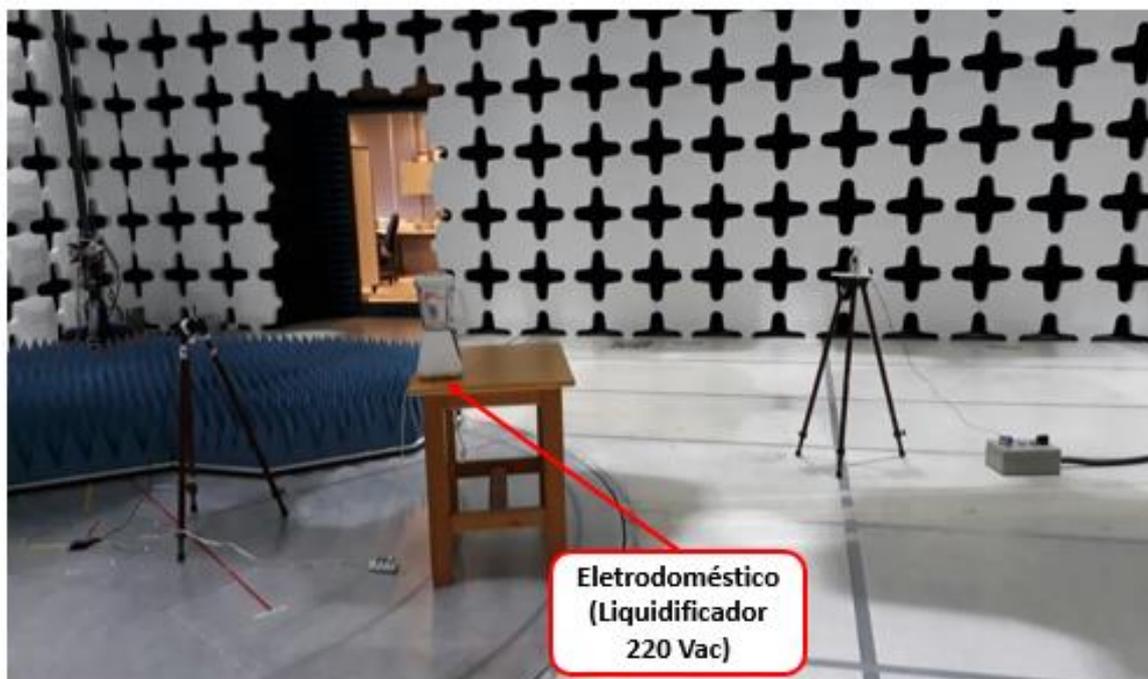


Fonte Própria

5.5 Avaliação das perturbações eletromagnéticas dos Equipamentos Eletrodomésticos com a RSSF

Com a mesma configuração de ensaio do subitem 5.4 foi inserido o eletrodoméstico, que apresentou o maior nível de perturbação medido no subitem 5.3, conforme pode ser visualizado na Figura 36. Assim foram realizadas as medidas de RSSI com o eletrodoméstico ligado e com ele desligado.

Figura 36. Configuração de ensaio para caracterização da RSSF com os Eletrodomésticos



Fonte Própria

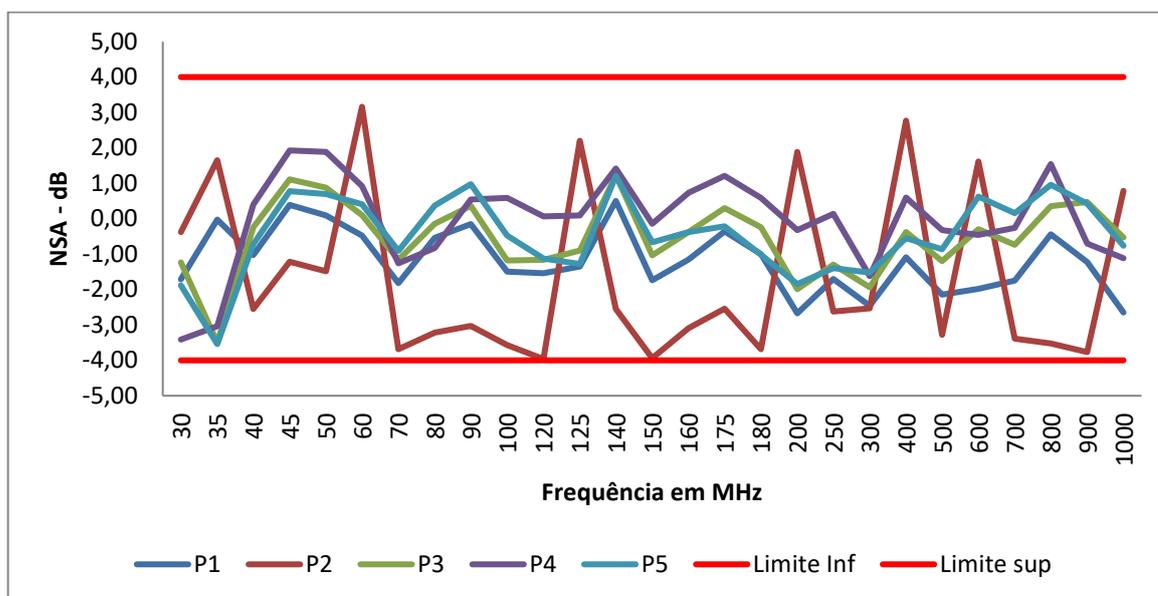
6 RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos pelo método descrito no capítulo 5, sendo apresentadas as validações da CSA e a caracterização do atenuador e depois a análise das perturbações dos eletrodomésticos e a caracterização da RSSF, em ambiente controlado, e finalmente a inserção dos eletrodomésticos próximos à rede.

6.1 Validação da CSA

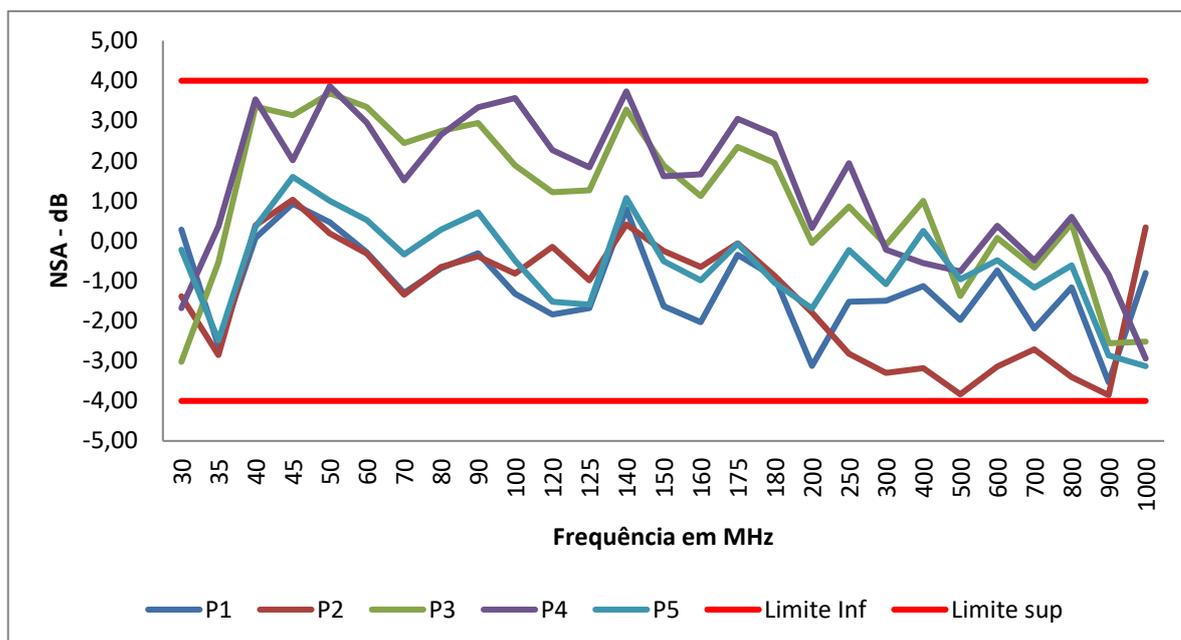
Através dos resultados apresentados na Figura 37, Figura 38, Figura 39 e Figura 40, é possível observar que todos os pontos medidos apresentaram-se dentro do limite normativo, sendo assim, é possível concluir que a CSA está apta para ser utilizada.

Figura 37. Resultado da Medida Relativa (± 4 dB) - Polarização Horizontal – 1 metro



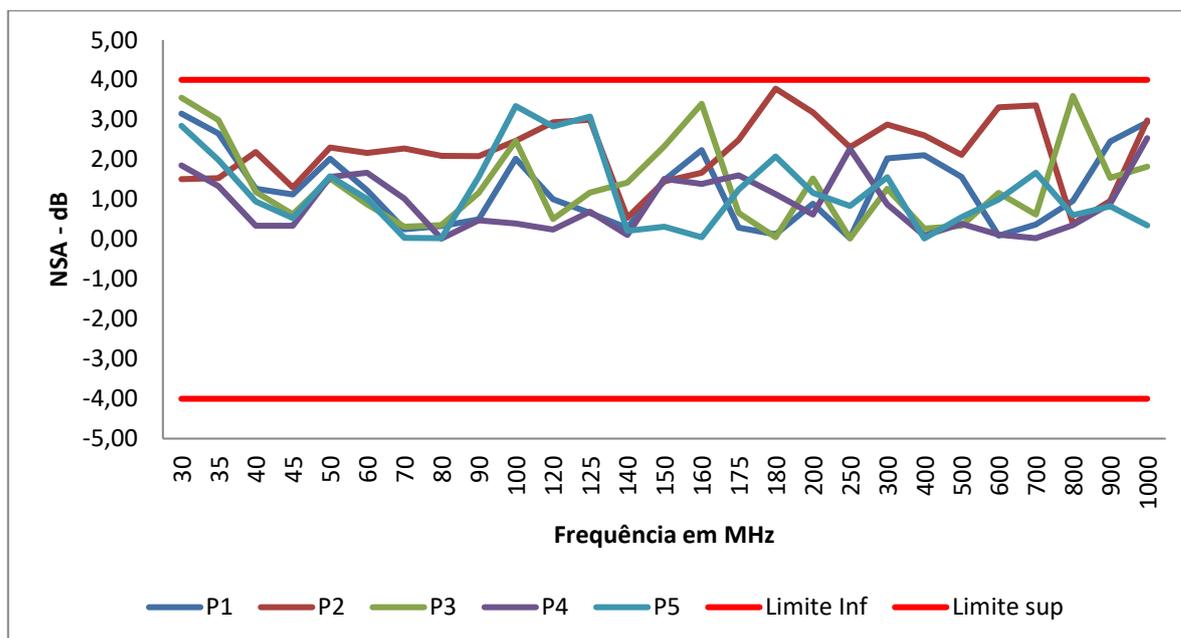
Fonte Própria

Figura 38. Resultado da Medida Relativa ($\pm 4\text{dB}$) - Polarização Horizontal - 2 metros

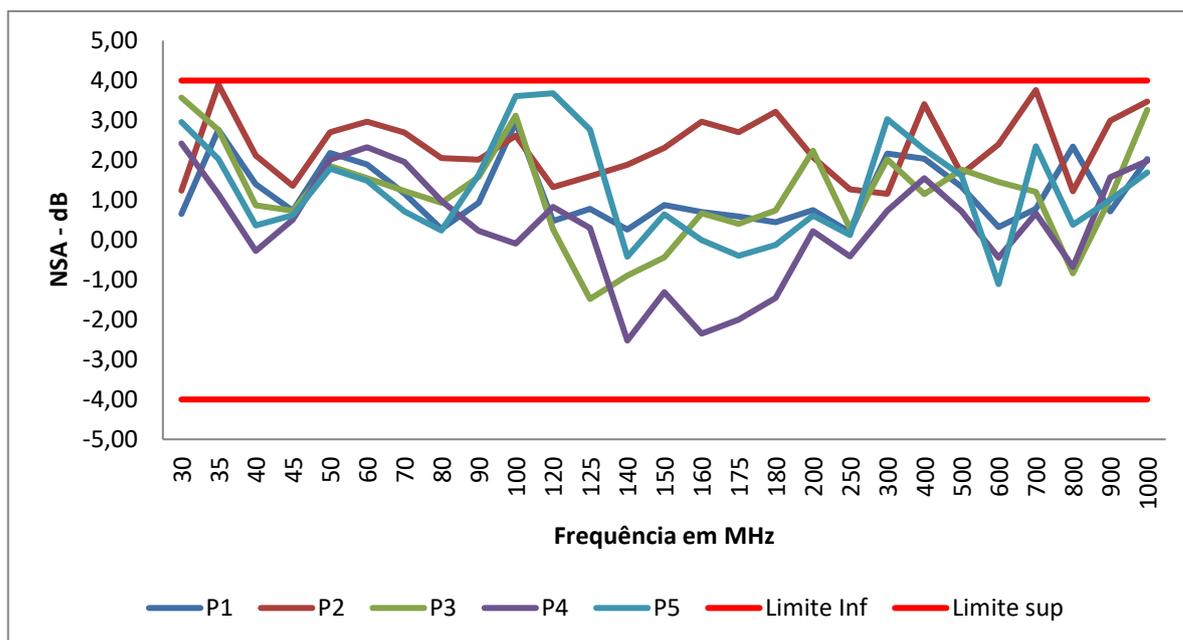


Fonte Própria

Figura 39. Resultado da Medida Relativa ($\pm 4\text{dB}$) - Polarização Vertical – 1 metro



Fonte Própria

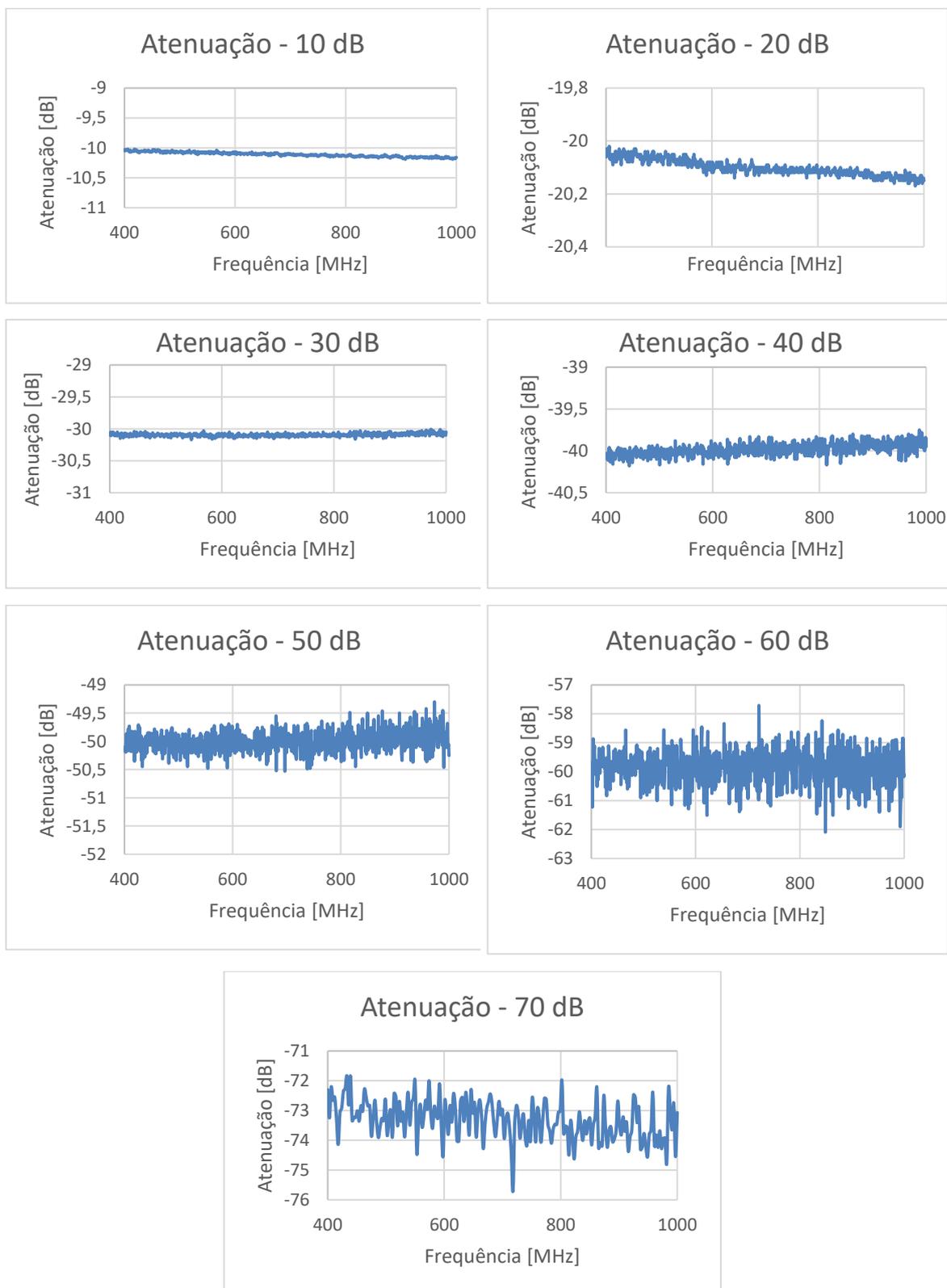
Figura 40. Resultado da Medida Relativa ($\pm 4\text{dB}$) - Polarização Vertical – 1,5metro

Fonte Própria

6.2 Caracterização dos Atenuadores

Nas Figura 41 e Figura 42 são apresentados os resultados obtidos na caracterização dos atenuadores.

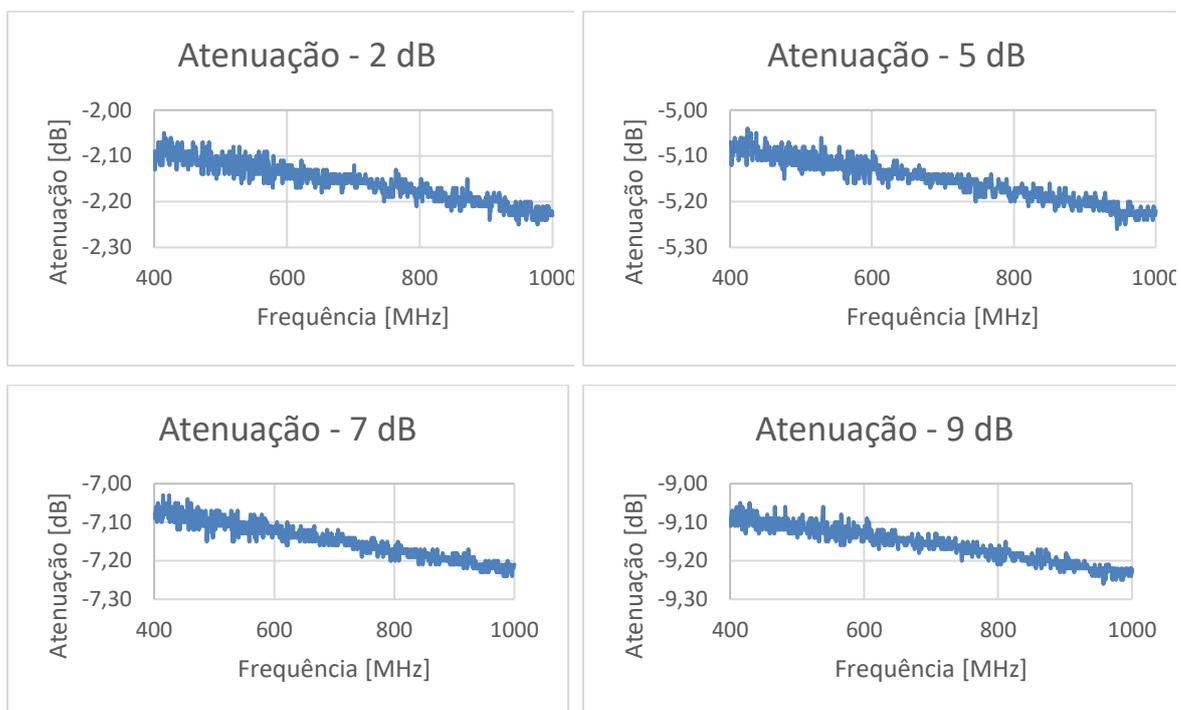
Figura 41. Resultado da medição de atenuação – 10 até 70 dB



Fonte Própria

Como pode ser observado nos gráficos na Figura 41, todas as configurações de atenuação obtiveram o valor próximo ao configurado, apenas as configurações de 60 e 70 dB ultrapassou a exatidão de 0,5 dB, estabelecido pelo *data sheet*. Mas, como é uma variação conhecida, ela pode ser corrigida.

Figura 42. Resultado da medição de atenuação – 1 até 10 dB



Fonte Própria

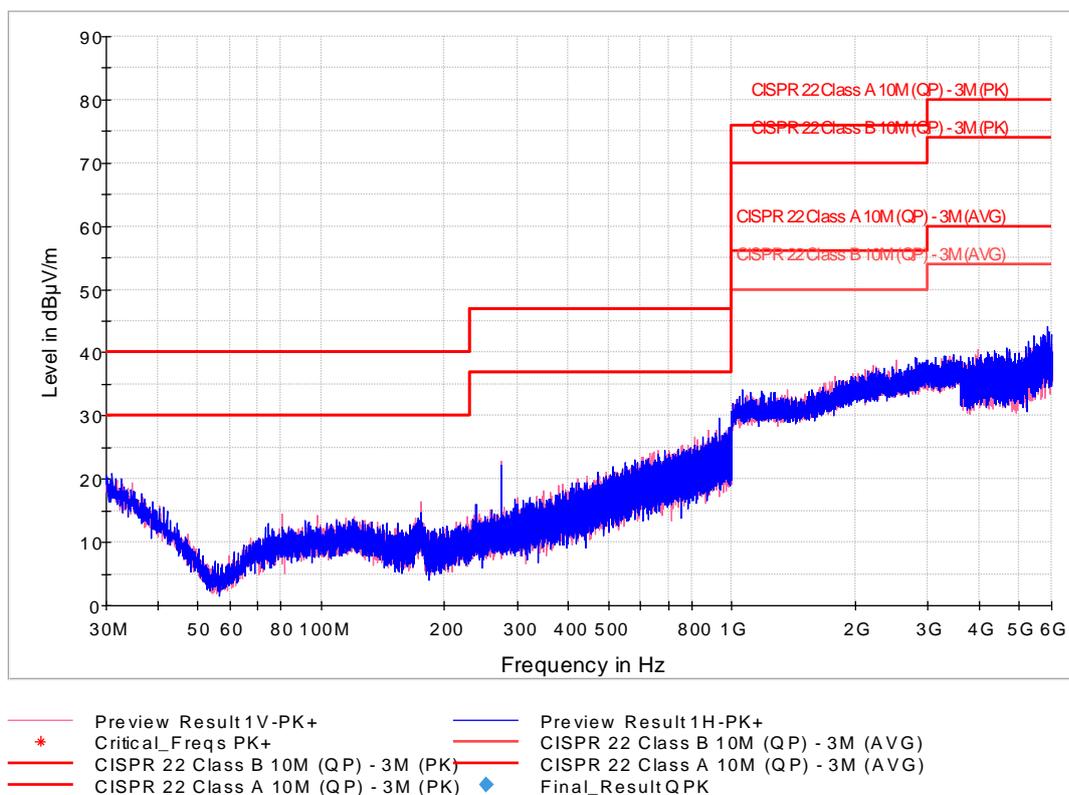
Como pode ser observado nos gráficos da Figura 42, foram realizadas as caracterizações nos passos de 2, 5, 7 e 9 dB, e estas configurações de atenuação obtiveram o valor próximo ao configurado, porém não estão dentro da exatidão de 0,2 dB estabelecido pelo *data sheet*, mas como é uma variação conhecida ela pode ser corrigida.

6.3 Medições das Perturbações Eletromagnéticas Radiadas – Equipamentos Eletrodomésticos

Na Figura 43 até a Figura 45, são apresentados os resultados obtidos nas medições das perturbações eletromagnéticas radiadas, com os equipamentos eletrodomésticos utilizando a norma CISPR 22, e da Figura 46 até Figura 50 são apresentados os resultados para CISPR 14-1. A Figura 43 e Figura 46 apresentam o ruído de fundo, ou seja, as medidas realizadas com os eletrodomésticos desligados.

A Figura 44 e Figura 45 apresenta uma medida realizada, conforme a norma CISPR 22, norma que trata de perturbações eletromagnéticas radiadas para equipamentos de tecnologia da informação. O limite é o mesmo da CISPR 14-1, porém ela estabelece limites até 6 GHz, e como há dispositivos de telecomunicações operando em frequências superiores à 1 GHz, foram feitas medidas para avaliar está faixa de frequência. Ao final de cada gráfico, mostrado nas figuras, são apresentados os valores das medições de quase pico.

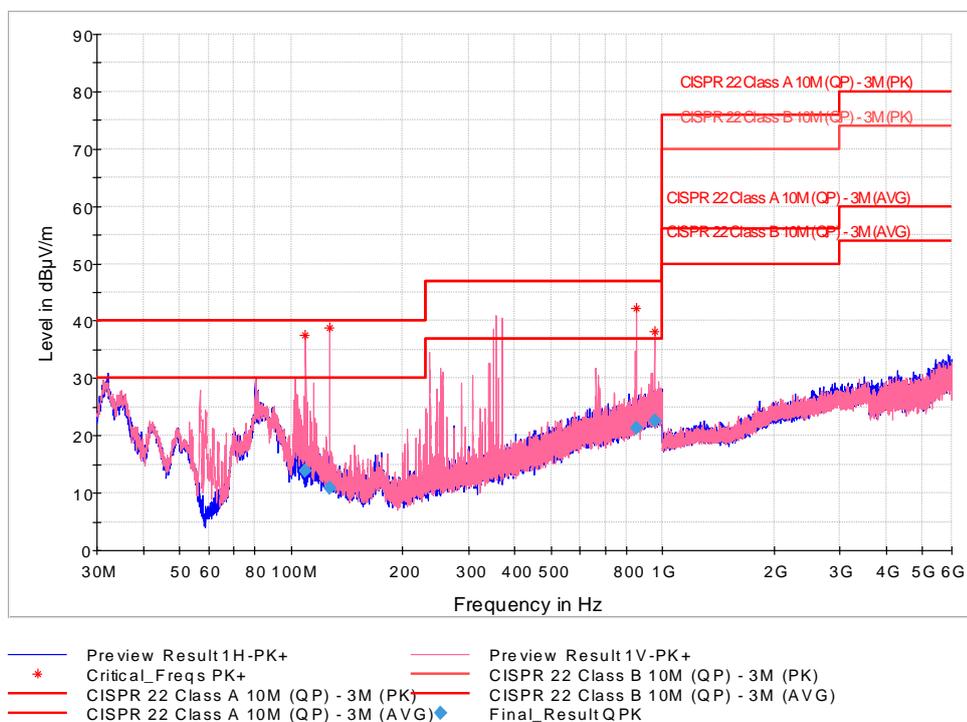
Figura 43. Resultado da medição das perturbações – Ruído de Fundo



Fonte Própria

A Figura 44 apresenta o resultado da medição das perturbações do micro-ondas e da geladeira em conjunto, ou seja, os dois foram medidos no mesmo setup.

Figura 44. Resultado da medição das perturbações – Micro-ondas e Geladeira

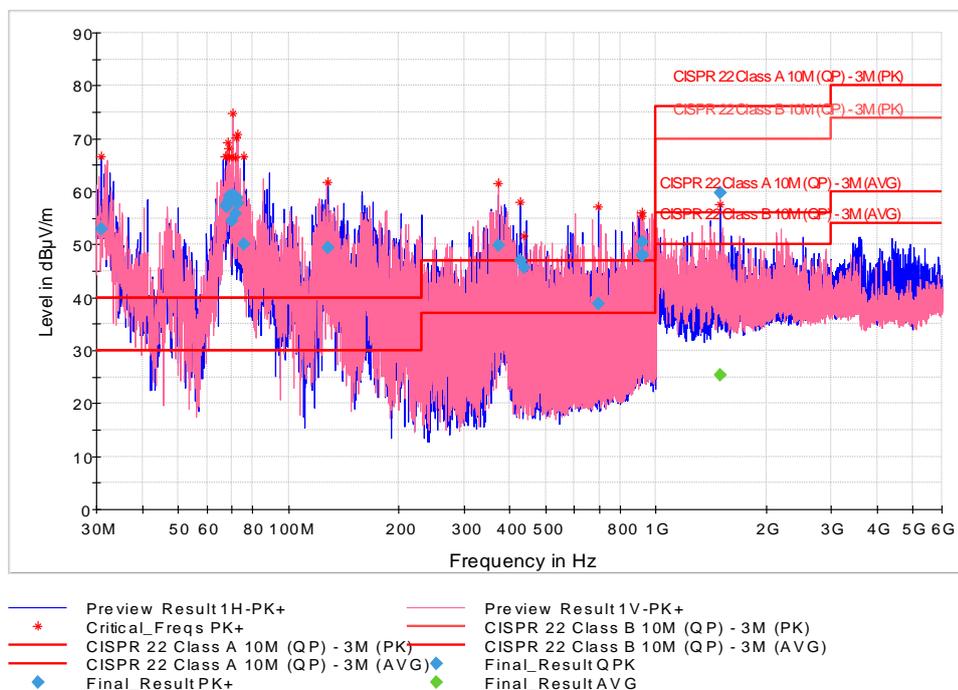


Fonte Própria

Como pode ser observado na Figura 44, quando realizada as medidas no micro-ondas e na geladeira simultaneamente, não foram apresentados níveis de perturbações em toda faixa de frequência, apenas em 30 MHz e 1 GHz, demonstrando que o equipamento não atende ao requisito normativo.

A Figura 45 apresenta o resultado da medição das perturbações do micro-ondas, geladeira e do liquidificador de 127 Vac quando ligados simultaneamente.

Figura 45. Resultado da medição das perturbações – Micro-ondas, Geladeira e Liquidificador



Fonte Própria

Tabela 11. Resultado da medição das perturbações – Micro-ondas, Geladeira e Liquidificador

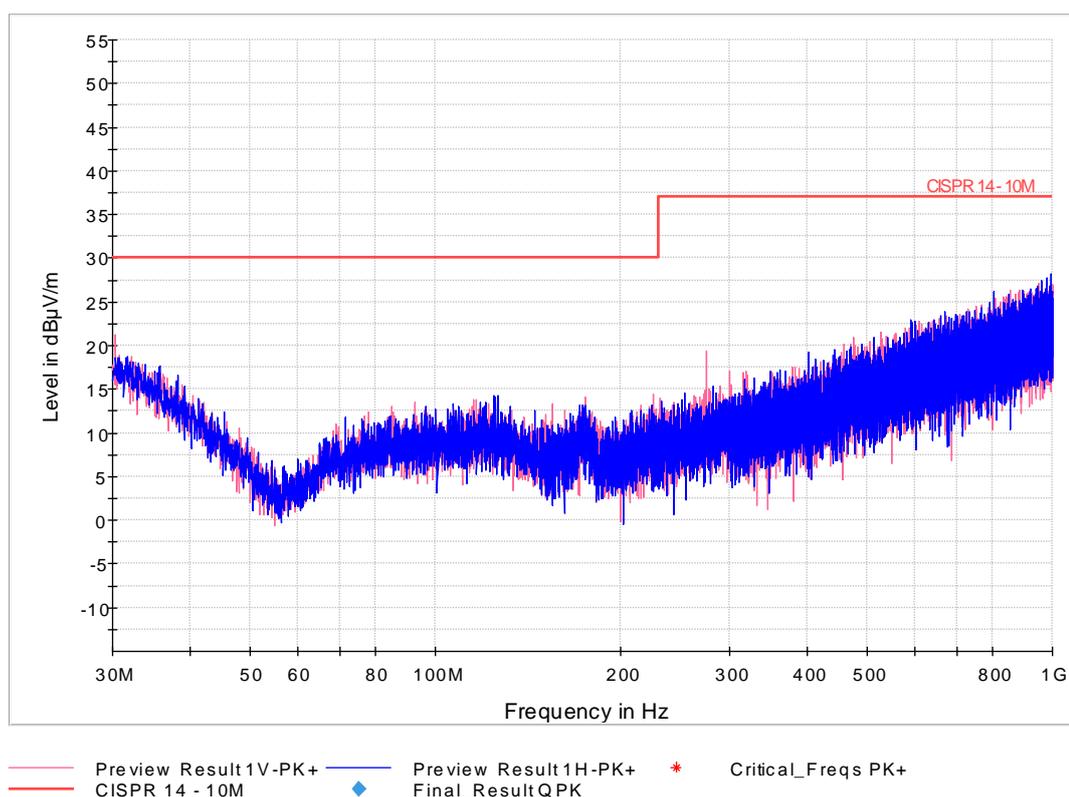
Frequência (MHz)	Quase Pico (dBµV/m)	Limite (dBµV/m)	Margem (dB)	Tempo de Medida (ms)	RBW (kHz)	Altura (cm)	Polarização	Azimuth (deg)
30.873000	53.03	30.00	-23.03	15000.0	120.000	248.9	H	2.0
67.199500	57.25	30.00	-27.25	15000.0	120.000	118.3	H	225.0
67.684500	57.12	30.00	-27.12	15000.0	120.000	173.9	H	226.0
68.509000	57.82	30.00	-27.82	15000.0	120.000	346.0	V	226.0
68.800000	58.39	30.00	-28.39	15000.0	120.000	221.9	V	226.0
69.091000	59.12	30.00	-29.12	15000.0	120.000	232.6	V	226.0
70.206500	54.55	30.00	-24.55	15000.0	120.000	289.4	V	1.0
70.691500	59.23	30.00	-29.23	15000.0	120.000	205.6	V	225.0
71.661500	55.71	30.00	-25.71	15000.0	120.000	213.8	V	-4.0
71.952500	58.84	30.00	-28.84	15000.0	120.000	155.8	V	236.0
72.631500	57.75	30.00	-27.75	15000.0	120.000	142.0	V	226.0
75.784000	50.00	30.00	-20.00	15000.0	120.000	248.9	H	2.0
128.406500	49.41	30.00	-19.41	15000.0	120.000	200.9	H	-1.0
372.652500	49.81	37.00	-12.81	15000.0	120.000	139.1	V	271.0
428.767000	47.02	37.00	-10.02	15000.0	120.000	390.5	H	291.0
435.945000	45.61	37.00	-8.61	15000.0	120.000	138.9	V	308.0
697.505500	38.80	37.00	-1.80	15000.0	120.000	304.1	H	239.0
914.931000	47.81	37.00	-10.81	15000.0	120.000	113.3	V	275.0
919.102000	48.15	37.00	-11.15	15000.0	120.000	282.8	V	214.0
920.266000	50.46	37.00	-13.46	15000.0	120.000	128.0	V	240.0
1498.000000	---	76.00	50.58	15000.0	1000.000	350.1	H	258.0
1498.000000	---	70.00	10.30	15000.0	1000.000	350.1	H	258.0

Fonte Própria

Como pode ser observado na Figura 45, quando foi inserido o liquidificador na medição, diversos pontos, quando configurado para o detector de pico, ficaram acima do limite. Porém para fazer a medida de quase pico foram escolhidos os níveis mais altos e os que estão próximos das frequências de operação da RSSF, sendo possível notar na Tabela 11 que todas as frequências escolhidas até 1 GHz apresentaram níveis maiores que o limite. Através desta análise, depreende-se que, o liquidificador apresentou níveis interferentes significativos e que os demais eletrodomésticos não apresentaram níveis acima do limite, para as frequências superiores a 1 GHz.

A Figura 46 apresenta o resultado da medição de ruído de fundo para CISPR 14-1.

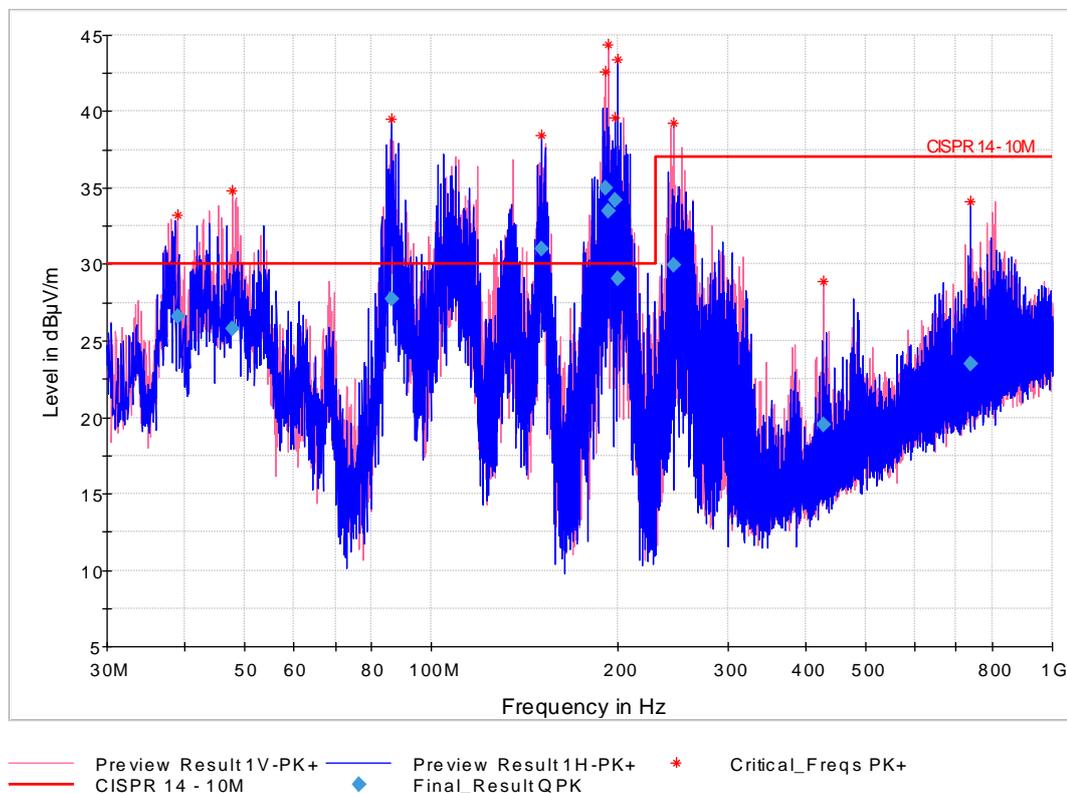
Figura 46. Resultado da medição das perturbações – Ruído de fundo



Fonte Própria

A Figura 47 apresenta o resultado da medição das perturbações do aspirador de pó de 127 Vac.

Figura 47. Resultado da medição das perturbações – Aspirador



Fonte Própria

Tabela 12. Resultado da medição das perturbações – Aspirador

Frequência (MHz)	Quase Pico (dBµV/m)	Limite (dBµV/m)	Margem (dB)	Tempo de Medida (ms)	RBW (kHz)	Altura (cm)	Polarização	Azimuth (deg)
38.924000	26.61	30.00	3.39	15000.0	120.000	393.5	V	226.0
47.848000	25.84	30.00	4.16	15000.0	120.000	282.4	V	140.0
86.066000	27.75	30.00	2.25	15000.0	120.000	360.0	H	110.0
150.037500	31.03	30.00	-1.03	15000.0	120.000	228.6	H	234.0
190.826000	34.97	30.00	-4.97	15000.0	120.000	253.5	V	30.0
193.008500	33.50	30.00	-3.50	15000.0	120.000	298.7	V	14.0
197.664500	34.24	30.00	-4.24	15000.0	120.000	140.3	H	26.0
199.653000	29.08	30.00	0.92	15000.0	120.000	251.6	H	22.0
245.631000	29.95	37.00	7.05	15000.0	120.000	292.4	V	162.0
428.039500	19.51	37.00	17.49	15000.0	120.000	217.2	V	308.0
739.506500	23.48	37.00	13.52	15000.0	120.000	339.2	H	10.0

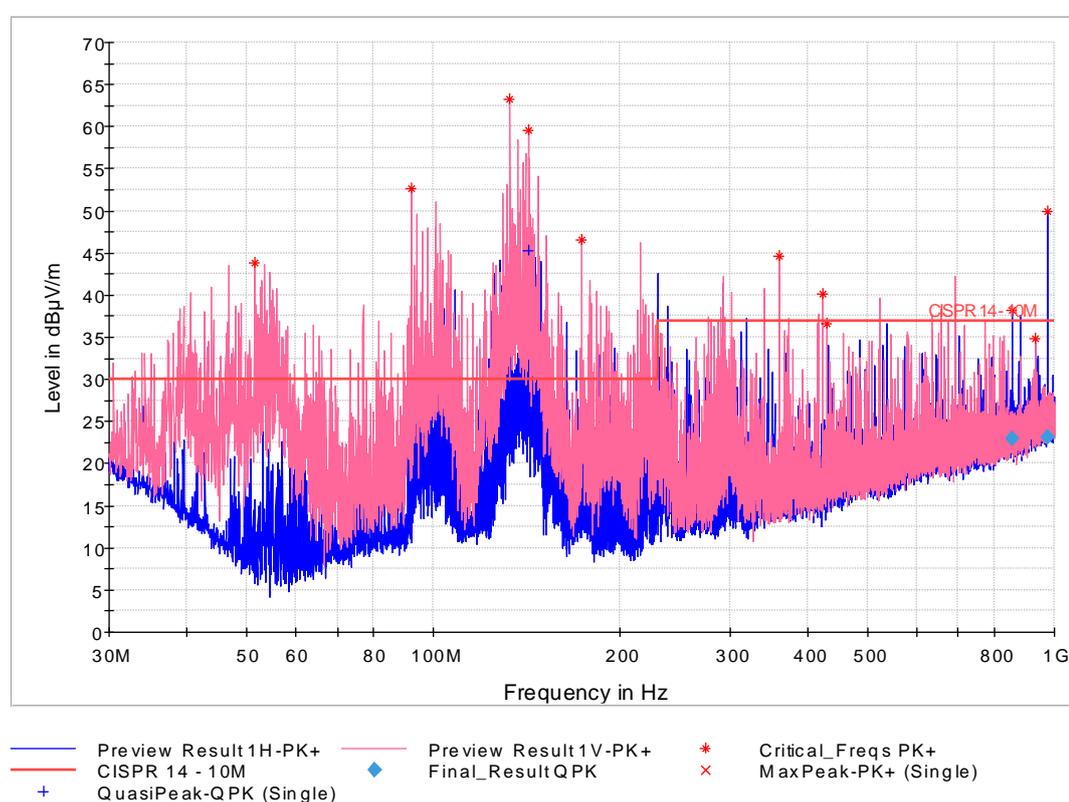
Fonte Própria

Como pode ser observado na Figura 47, na varredura de pico foram obtidos valores acima no limite normativo, porém quando realizada a medida de quase pico, apenas as frequências próximas de 150, 190, 193 e 197 MHz ficaram

acima do limite, sendo o maior nível o de 4,97 dB, em relação ao limite. É possível concluir que o aspirador não atende ao requisito normativo.

A Figura 48 apresenta o resultado da medição das perturbações do liquidificador de 127 Vac.

Figura 48. Resultado da medição das perturbações – Liquidificador 127 Vac



Fonte Própria

Tabela 13. Resultado da medição das perturbações – Liquidificador 127 Vac

Frequência (MHz)	Quase Pico (dBµV/m)	Limite (dBµV/m)	Margem (dB)	Tempo de Medida (ms)	RBW (kHz)	Altura (cm)	Polarização	Azimuth (deg)
854.985000	22.97	37.00	14.03	15000.0	120.000	343.0	H	26.0
974.149500	23.13	37.00	13.87	15000.0	120.000	102.6	H	37.0

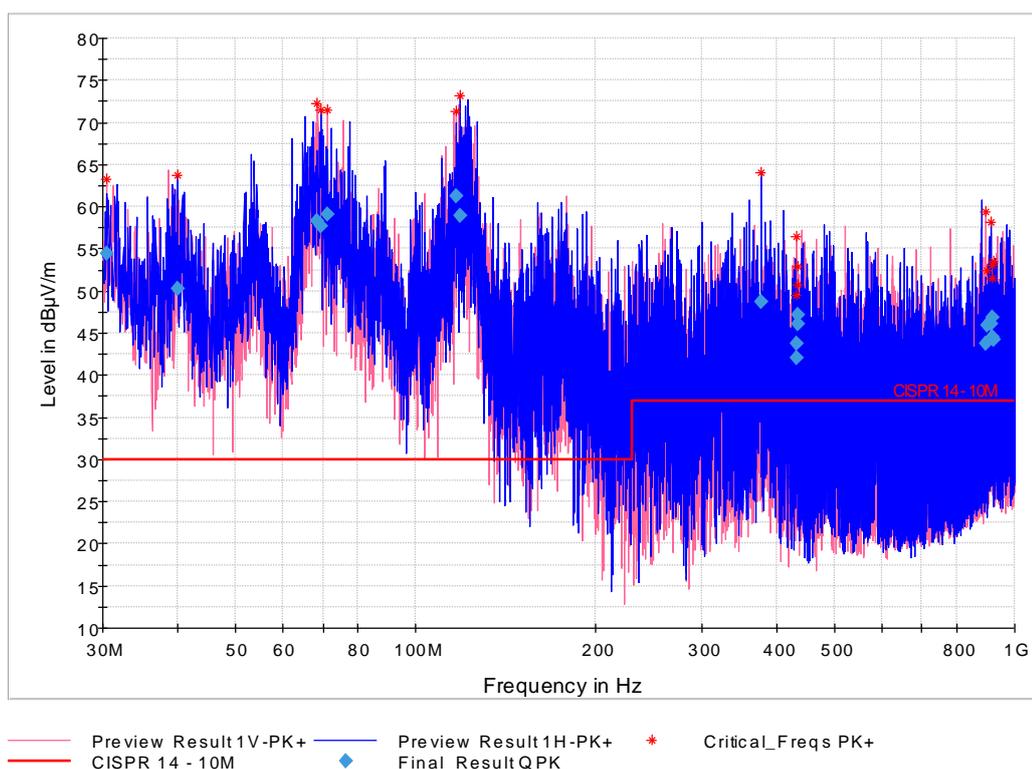
Fonte Própria

Como pode ser observado na Figura 48, na varredura de pico foram obtidos valores acima do limite normativo, porém quando realizada a medida de quase pico apenas nas frequências próximas de 900 MHz, o valor medido ficou abaixo do limite normativo, podendo-se concluir que a taxa de repetição do sinal era baixa e, quando realizada a medida com o detector de quase pico, o valor ficou abaixo do limite normativo. Para este caso, registrando somente as frequências próximas de 900 MHz, o equipamento atende ao requisito normativo, porém como

no requisito é necessário a avaliação de toda faixa, é possível notar que próximo de 150 MHz o equipamento apresentou perturbações significativas.

A Figura 49 apresenta o resultado da medição das perturbações do liquidificador de 220 Vac.

Figura 49. Resultado da medição das perturbações – Liquidificador 220 Vac



Fonte Própria

Tabela 14. Resultado da medição das perturbações – Liquidificador 220 Vac

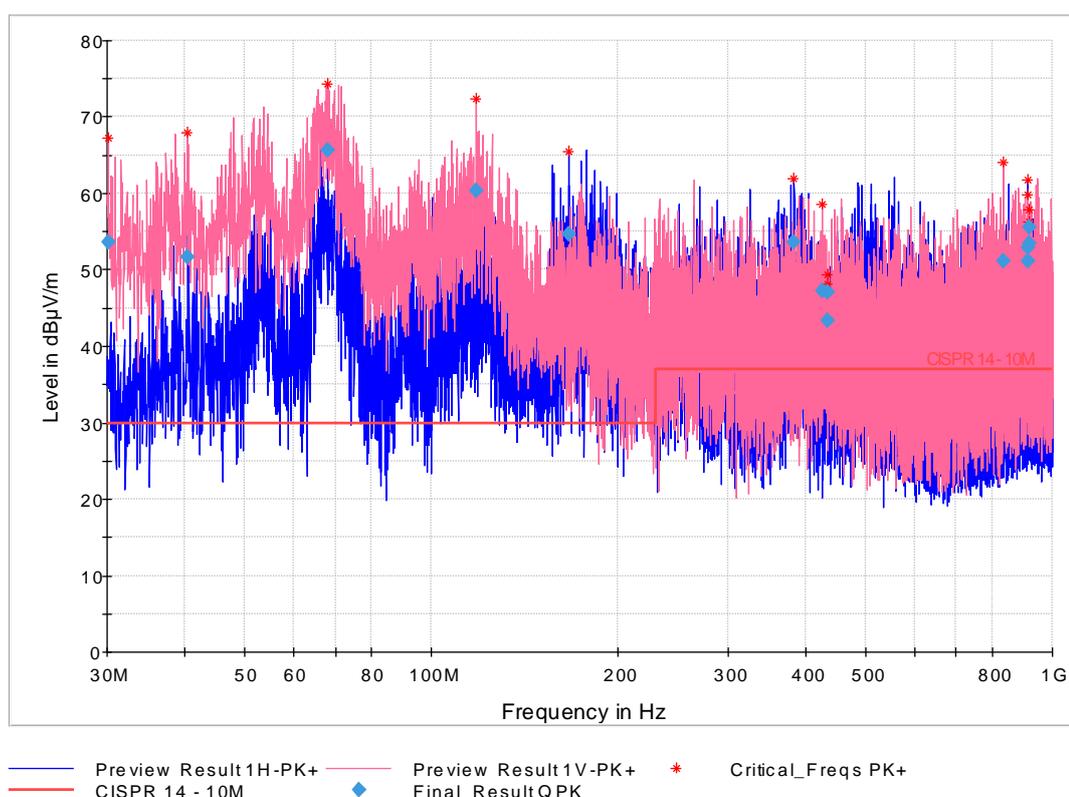
Frequência (MHz)	Quase Pico (dBµV/m)	Limite (dBµV/m)	Margem (dB)	Tempo de Medida (ms)	RBW (kHz)	Altura (cm)	Polarização	Azimuth (deg)
30.388000	54.42	30.00	-24.42	15000.0	120.000	135.6	V	310.0
40.039500	50.25	30.00	-20.25	15000.0	120.000	196.3	H	68.0
68.509000	58.27	30.00	-28.27	15000.0	120.000	173.6	V	228.0
69.479000	57.64	30.00	-27.64	15000.0	120.000	122.3	H	226.0
71.176500	59.17	30.00	-29.17	15000.0	120.000	279.9	V	137.0
116.669500	61.29	30.00	-31.29	15000.0	120.000	386.1	V	47.0
118.755000	58.99	30.00	-28.99	15000.0	120.000	146.0	H	53.0
377.696500	48.64	37.00	-11.64	15000.0	120.000	127.6	H	21.0
432.501500	43.73	37.00	-6.73	15000.0	120.000	206.6	V	146.0
433.132000	42.07	37.00	-5.07	15000.0	120.000	299.8	H	178.0
434.732500	46.06	37.00	-9.06	15000.0	120.000	270.3	H	9.0
435.363000	47.20	37.00	-10.20	15000.0	120.000	264.1	V	29.0
894.658000	43.76	37.00	-6.76	15000.0	120.000	116.5	V	302.0
900.284000	45.89	37.00	-8.89	15000.0	120.000	184.5	V	174.0
915.319000	46.13	37.00	-9.13	15000.0	120.000	309.9	H	155.0
916.725500	44.59	37.00	-7.59	15000.0	120.000	216.8	V	232.0
919.199000	46.82	37.00	-9.82	15000.0	120.000	339.3	H	191.0
923.952000	44.25	37.00	-7.25	15000.0	120.000	376.6	H	288.0

Fonte Própria

A Figura 49 demonstra um nível significativo de perturbação eletromagnética gerada pelo liquidificador de 220 Vac. Os níveis da Tabela 14 chegam a ultrapassar mais de 25 dB o limite normativo. Na faixa de interesse do trabalho, as perturbações ficaram próxima de 10 dB acima do limite normativo. Através desta medida, por apresentar níveis altos de perturbação, este equipamento eletrodoméstico foi escolhido para avaliação junto à RSSF.

A Figura 50 apresenta os resultados das medições das perturbações de dois liquidificadores ligados simultaneamente, o de 127 Vac e o de 220 Vac.

Figura 50. Resultado da medição das perturbações – Liquidificador 220 Vac e 127 Vac



Fonte Própria

Tabela 15. Resultado da medição das perturbações – Liquidificador 220 Vac e 127 Vac

Frequência (MHz)	Quase Pico (dB μ V/m)	Limite (dB μ V/m)	Margem (dB)	Tempo de Medida (ms)	RBW (kHz)	Altura (cm)	Polarização	Azimuth (deg)
30.145500	53.56	30.00	-23.56	15000.0	120.000	224.6	V	310.0
40.427500	51.59	30.00	-21.59	15000.0	120.000	281.3	V	68.0
67.975500	65.69	30.00	-35.69	15000.0	120.000	268.8	V	228.0
118.124500	60.43	30.00	-30.43	15000.0	120.000	129.6	V	226.0
166.624500	54.77	30.00	-24.77	15000.0	120.000	381.3	H	137.0
383.856000	53.66	37.00	-16.66	15000.0	120.000	305.0	H	47.0
425.711500	47.26	37.00	-10.26	15000.0	120.000	307.0	V	53.0
433.665500	47.13	37.00	-10.13	15000.0	120.000	113.8	V	21.0
434.005000	43.42	37.00	-6.42	15000.0	120.000	250.8	V	146.0
835.536500	51.21	37.00	-14.21	15000.0	120.000	183.1	V	178.0
911.342000	51.20	37.00	-14.20	15000.0	120.000	271.7	H	9.0
914.203500	52.96	37.00	-15.96	15000.0	120.000	347.0	V	29.0
915.998000	53.48	37.00	-16.48	15000.0	120.000	396.9	V	302.0
919.878000	55.63	37.00	-18.63	15000.0	120.000	194.1	V	174.0

Fonte Própria

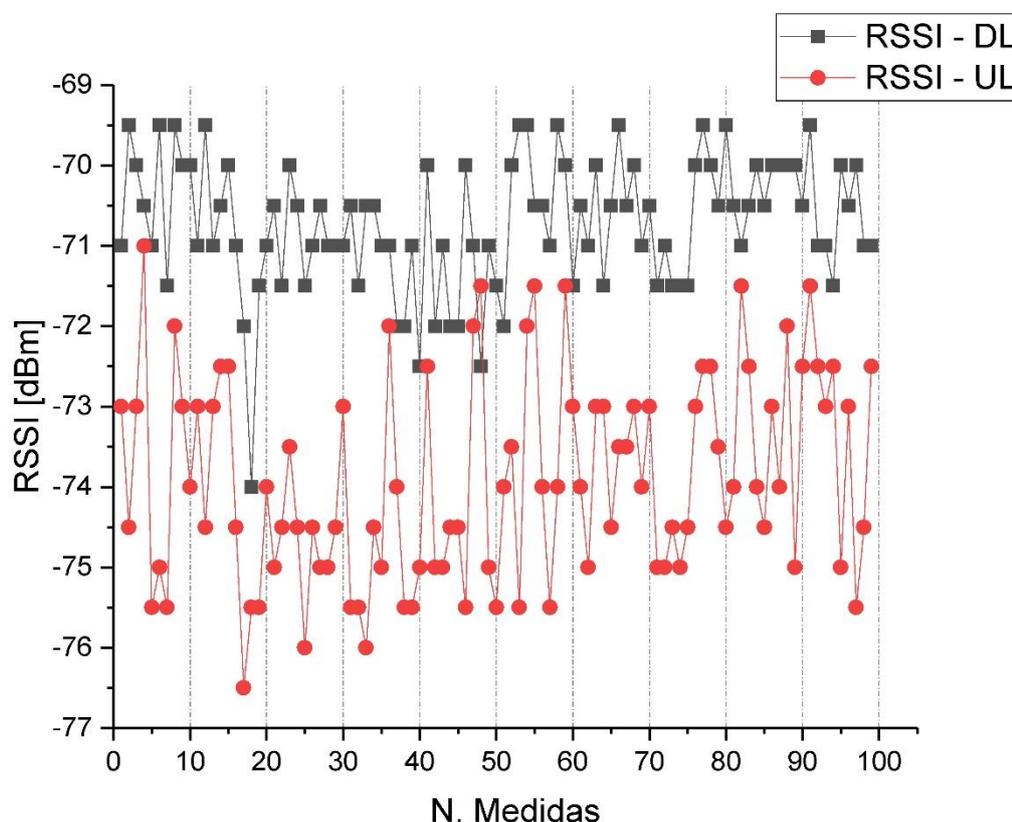
Na Figura 50 foram apresentas as medidas de quando os dois liquidificadores são ligados em conjunto, tanto o de 127 Vac, quanto o de 220 Vac. As perturbações, como esperado, ficaram maiores, com níveis acima de 30 dB do limite normativo e em toda a faixa. Na faixa de interesse do trabalho, as perturbações ficaram próximas de 15 dB acima do limite normativo.

6.4 Avaliação da RSSF sem equipamentos eletrodomésticos

No Gráfico 1 e Gráfico 2 são apresentadas as medidas da RSSI obtidas no enlace rádio, quando colocados na CSA sem os equipamentos eletrodomésticos. Houve a tentativa de utilizar os atenuadores para buscar a sensibilidade de recepção do rádio, porém as distâncias entre a base e o sensor utilizadas para a avaliação da RSSI foram suficientes para se obter o nível próximo à sensibilidade de recepção, não sendo necessária a utilização dos atenuadores.

No Gráfico 1 apresenta os resultados de 100 medidas da RSSI.

Gráfico 1. Análise da RSSI sem equipamentos eletrodomésticos – 100 medidas

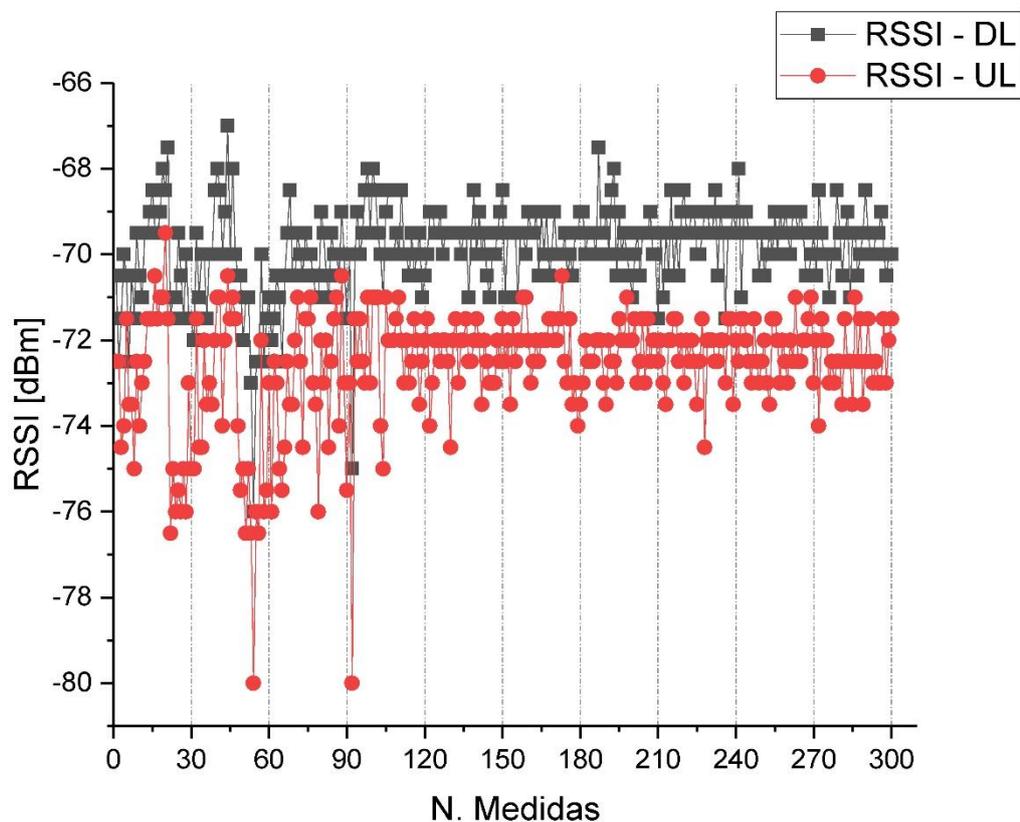


Fonte Própria

É possível notar, no Gráfico 1, que não houve perda de pacote e a RSSI manteve-se estável. Com isso o sistema está preparado para ser avaliado quando colocado no mesmo ambiente eletromagnético de um equipamento com altos níveis de interferência.

O Gráfico 2 apresenta os resultados de 300 medidas de RSSI.

Gráfico 2. Análise da RSSI sem equipamentos eletrodomésticos – 300 medidas



Fonte Própria

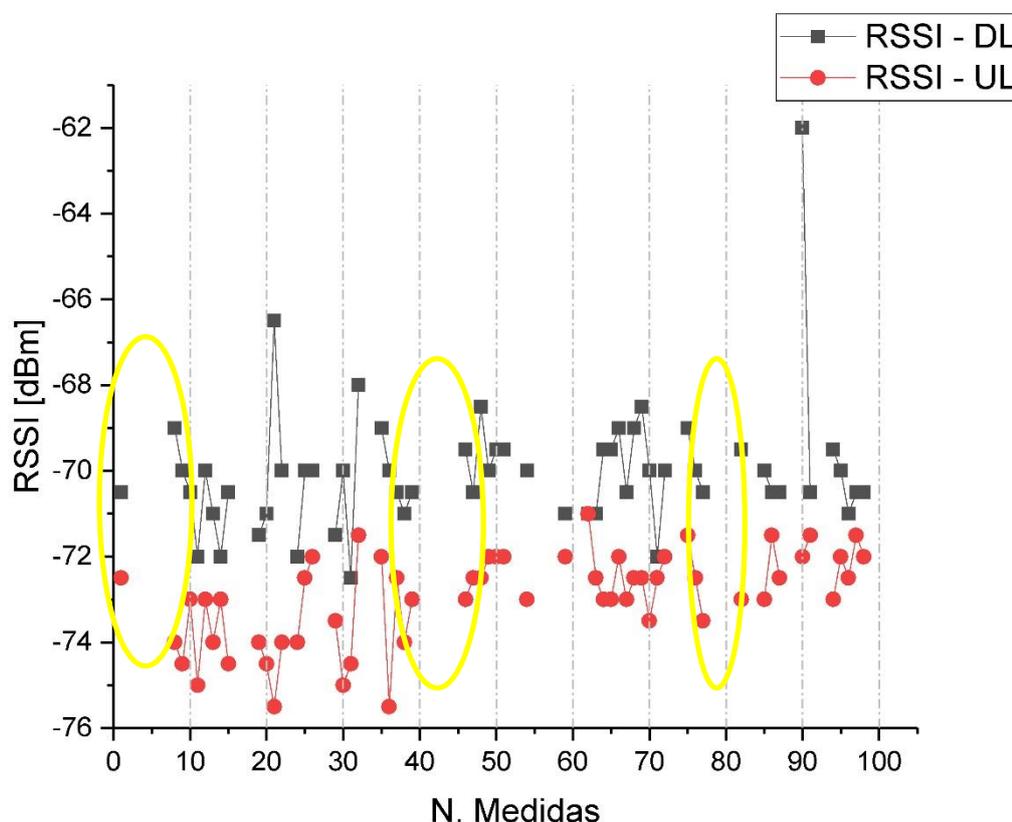
No Gráfico 2 a coleta de 300 medidas ilustra de maneira mais representativa a estabilidade da rede dentro da CSA. Em um ambiente controlado, isso garante que, quando inserido os eletrodomésticos, é possível realmente avaliar se foram eles os causadores de possíveis perdas de pacotes.

6.5 Avaliação das perturbações eletromagnéticas dos equipamentos eletrodomésticos com a RSSF

No Gráfico 3 até o Gráfico 6, são apresentadas as medidas de RSSI obtidas no enlace rádio, quando colocado na CSA com os equipamentos eletrodomésticos, no caso o liquidificador 220 Vac, que apresentou os maiores níveis de perturbação eletromagnética. Além da avaliação de RSSI, foi medida a PER para avaliar a porcentagem de pacotes perdidos na comunicação.

O Gráfico 4 apresenta a coleta de 100 dados de RSSI.

Gráfico 3. Análise da RSSI com equipamentos eletrodomésticos – 100 medidas

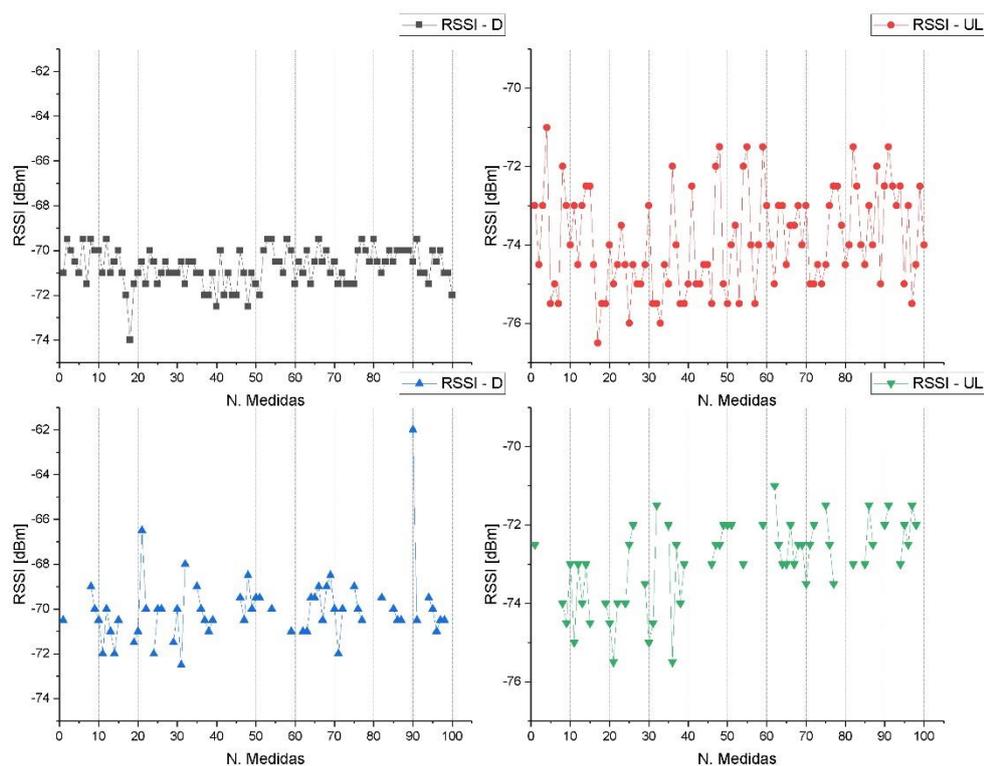


Fonte Própria

Como pode ser observado no Gráfico 3, as indicações em amarelo demonstram as perdas pacotes causadas pelas interferências eletromagnéticas do liquidificador, no caso acima, a PER obtida foi de 42 %, ou seja, houve perda significativa, no que diz respeito a operacionalização de RSSF.

O Gráfico 4 apresenta um comparativo da RSSI, com e sem eletrodoméstico, os gráficos superiores referem-se as medidas de RSSI sem eletrodoméstico e os inferiores, com o eletrodoméstico. É notória a variação da RSSI quando o eletrodoméstico é ligado, nota-se que os gráficos superiores apresentam mais pontos que indicam menor perda de pacote em relação aos gráficos de inferiores.

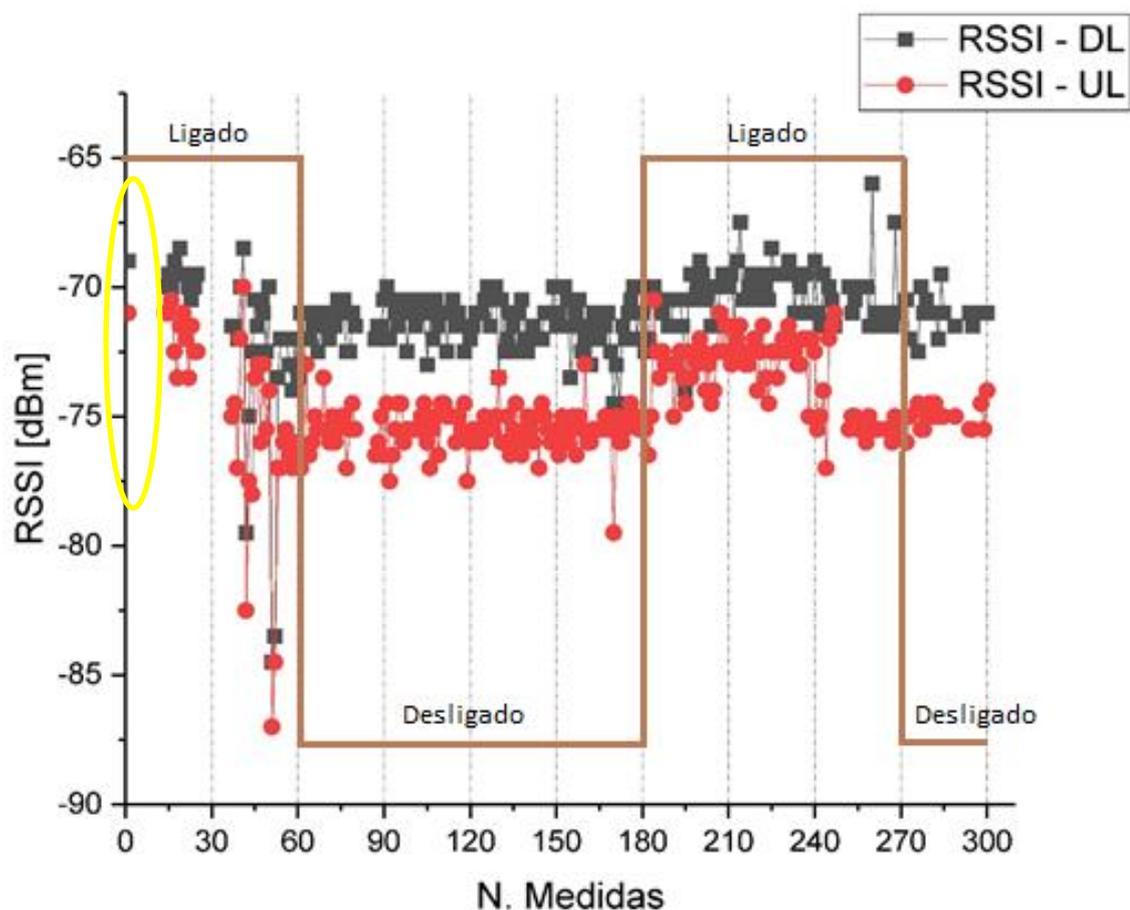
Gráfico 4. Análise da RSSI com e sem equipamentos eletrodomésticos – 100 medidas



Fonte Própria

O Gráfico 5 apresenta 300 medidas realizadas ao longo do tempo, onde o eletrodoméstico foi ligado e desligado.

Gráfico 5. Análise da RSSI com e sem equipamentos eletrodomésticos – 300 medidas

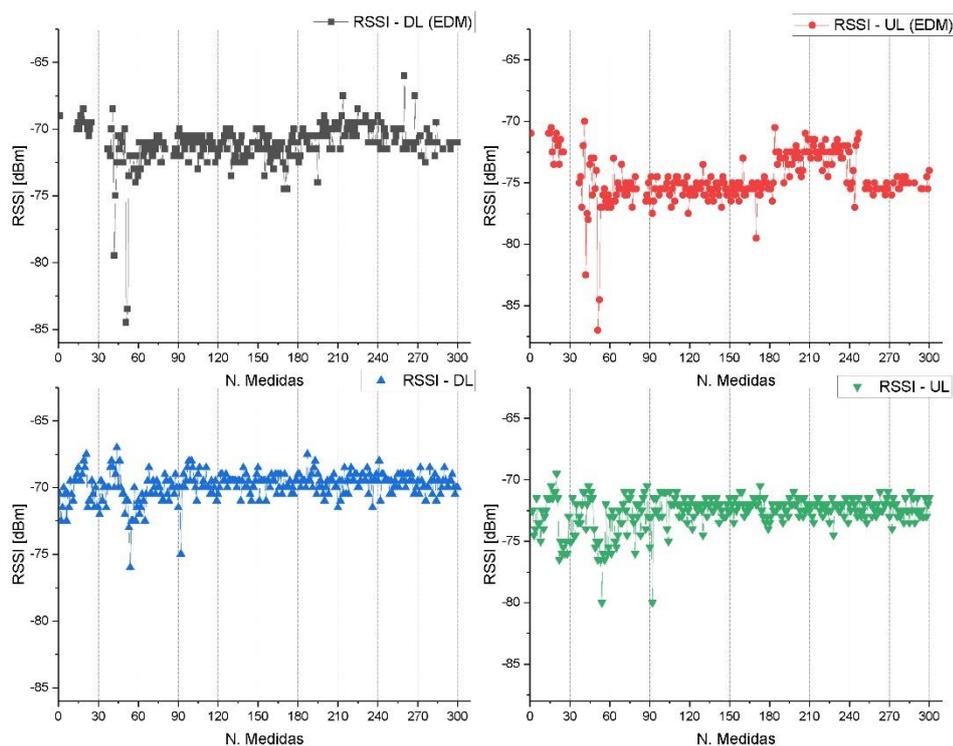


Fonte Própria

No Gráfico 5 é possível notar que quando o eletrodoméstico é ligado há perdas de pacote, como indicado em amarelo, após a medida 60 em que ele é desligado a RSSI mantém estável o nível de RSSI, porém a partir da medida 180 o mesmo é ligado e a RSSI aumenta e há perda de pacotes.

No Gráfico 6 são apresentadas a RSSI das medidas com eletrodoméstico ligado e sem estar ligado. A RSSI foi apresentada separada para facilitar a visualização, sendo os gráficos superiores com a ligação dos eletrodomésticos e inferior com o eletrodoméstico desligado.

Gráfico 6. Análise da RSSI com e sem equipamentos eletrodomésticos (RSSI separadas) – 300 medidas



Fonte Própria

Os gráficos inferiores apresentam claramente mais estabilidade em relação aos gráficos superiores, além da quantidade de pontos serem maiores, isto ilustra a perda de pacotes na comunicação de rádio, tendo em vista que os pontos representam os pacotes trocados.

7 CONCLUSÃO

Com base nos resultados apresentados no capítulo 6, pode-se concluir que equipamentos eletrodomésticos disponíveis do mercado apresentam níveis de perturbações eletromagnéticas radiadas acima do limite normativo e estes níveis podem influenciar significativamente o funcionamento de uma RSSF.

Ao avaliar que não existe requisito normativo no Brasil quanto aos aspectos de EMC para equipamentos eletrodomésticos, e que a RSSF é de extrema importância em IoT, foi necessário avaliar se os equipamentos eletrodomésticos do mercado atendem aos limites normativos utilizados internacionalmente. Os resultados mostraram que os equipamentos coletados do mercado apresentaram níveis acima do limite, principalmente o liquidificador que apresentou níveis acima do limite em praticamente toda faixa de frequência avaliada, 30 MHz até 1 GHz, e com níveis de até 30 dB acima do limite normativo.

Para verificar se estas perturbações afetam a RSSF, a mesma foi colocada em um ambiente controlado, em uma CSA, com uma programação em Python para realização da coleta da RSSI e também da PER dos rádios. A PER e RSSI foram medidas ao longo do tempo, a RSSI apresentou níveis estáveis e a PER foi de 0 %, quando somente a rede estava em ambiente controlado.

Ao inserir na configuração de teste os eletrodomésticos com maior nível de perturbação, obtidas nas medidas anteriores, no caso, o liquidificador, foi possível verificar que a RSSI não apresentou estabilidade e a PER foi de 42 %, ou seja, o eletrodoméstico afetou significativamente o funcionamento da RSSF.

Diante deste trabalho, é de extrema importância que os órgãos certificadores do Brasil, elaborem requisitos de ensaios para que os equipamentos eletrodomésticos atendam aos requisitos de EMC, pois uma tecnologia de IoT, pode ser desenvolvida, mas quando instalada em campo, no caso, em um ambiente residencial, a rede poderia não funcionar de forma adequada, impedindo o avanço da tecnologia no país. A proposta para os órgãos reguladores é em utilizar inicialmente os requisitos normativos da norma CISPR 14-1. Além da criação de regulamentos que exigem que os fabricantes de eletrodomésticos atendam aos requisitos de EMC para comercializar o seu produto legalmente no país é importante que os desenvolvedores das RSSF elaborem formas de mitigar o efeito das perturbações eletromagnéticas para que o seu projeto não seja afetado, desde o projeto da placa quanto ao local de instalação.

A proposta para trabalhos futuros é avaliar a influência das perturbações eletromagnéticas em outros sistemas de telecomunicações, como por exemplo, a TV digital. Também fazer uma análise estatística do comportamento das perturbações eletromagnéticas medidas neste trabalho para facilitar os desenvolvedores da rede na mitigação das interferências eletromagnéticas.

Além das propostas acima é possível utilizar o mesmo método adotado no trabalho, porém com a avaliação de equipamentos importados que em tese já atende a norma CISPR 14-1. Assim, é possível avaliar as diferenças nos circuitos dos equipamentos importados com os equipamentos nacionais para avaliar o gap entre eles e ser um indicador para os fabricantes adequar seus equipamentos.

Outra avaliação importante está relacionada a produtos de mesmo modelo, porém com tensões de alimentação diferentes, de modo que seja possível avaliar as diferenças entre as tensões de alimentação, por exemplo, 127 Vac e 220 Vac.

Por fim, também é possível fazer este estudo para outros produtos que não possuem certificação no Brasil quanto aos aspectos de Compatibilidade Eletromagnética e assim fortalecer a importância de EMC para o Brasil.

8 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. *Anexo à resolução número 442: Regulamento para certificação de equipamentos de telecomunicações quanto aos aspectos de compatibilidade eletromagnética*. Brasília, 2006.23p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR IEC/CISPR 22:2013: Equipamento de tecnologia da informação — Características de radioperturbação*. São Paulo, 2013.86p.

ATMEL. ATmega328 / P. Disponível em http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P_Datasheet.pdf. Acesso em: 15 set.2016

AZARRÀ, A. et al. *Middleware solutions in WSN: the IoT oriented approach in the ICSI project*. In: *Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM)*, 2013 21st International, 13917314, 2013, Croácia.

BOTTA, M., & SIMEK, M. Adaptive distance estimation based on RSSI in 802.15.4 network. In: *Radioengineering*, Dept. of Telecommunication, Faculty of Electrical Engineering and Communication, Brno University of Technology, Czech Republic. 2013, 1162–1168.

BRONAUGH, E. L. The Quasi-Peak Detector. Disponível em <http://www.emcs.org/acstrial/newsletters/summer01/pp.bronaugh.htm>. Acesso em: 10 jan.2018

CARDOSO, K.S. *Um estudo de aplicação de backhaul híbrido de rof e rádio em RSSF*.2015.114f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Redes de Telecomunicações) –Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica,Campinas, 2015.

CHAVES, P.R. *Redes centralizadas de sensores sem fio para pequenas e médias indústrias - um estudo preparatório para a indústria 4.0*.2016.80f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Redes de Telecomunicações) –Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica,Campinas, 2016.

CHINA COMPULSORY CERTIFICATION. Electromagnetic compatibility - Requirements for household appliances, eletric tools and similar. China, 2010.87p.

EUROPEAN COMMISSION. Directive 2014/30/EU. Disponível em http://ec.europa.eu/growth/single-market/european-tandards/harmonised-standards/electromagnetic-compatibility_en>. Acesso em: 20 dez.2017

ETS-LINDGREN. 3117 Double-Ridged Guide Antenna. Disponível em <<http://www.ets-lindgren.com/datasheet/antennas/double-ridged-guide/4002/400205>>. Acesso em: 12 jan.2018

FARIA, G.H.; SOARES, D.M.; COSTA, M.; LINO, T.; DIAS, T.J.; MÚSICO, L.G.; BATISTA, L.; PEREIRA, G. SUPORTABILIDADE DE ELETRODOMÉSTICOS FRENTE A DISTÚRBIOS DE QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA. In: TRABALHO DE CONDICIONAMENTO, 2014, Itajubá-MG, p.1-9.

GUBBI, J., BUYYA, R., SLAVEN, M., & PALANISW, M. Future Generation Computer Systems Internet of Things (IoT): A vision , architectural elements , and future directions. Elsevier, 29, 1645–1660, 2013. Disponível em <www.elsevier.com/locate/fgcs>. Acesso em 15 abr. 2017

GUIMARÃES, J. Ensaio De Proficiência Em Compatibilidade Eletromagnética: Programa Exploratório De Medidas De Emissão Radiada. Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Elétrica do Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2008.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. Disponível em: < <http://www.inmetro.gov.br/qualidade/comites/sbc.asp>>. Acesso em: 18 maio.2017.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMISSION. *IEC CISPR 16-1-1: Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods - Part 1-1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus - Measuring apparatus*. Suíça, 2010a.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMISSION. (2010b). *IEC CISPR 16-1-4: Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-4: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Antennas and test sites for radiated disturbance measurements*. Suíça, 2010b.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMISSION. (2016). *IEC CISPR 14-1: Electromagnetic compatibility - Requirements for household appliances, electric tools and similar apparatus - Part 1: Emission*. Suíça, 2016.

JFW INDUSTRIES. JFW MODEL 50R-019. Disponível em <<https://www.jfwindustries.com/pdf/50R-019.pdf>>. Acesso em: 10 Nov.2017a

JFW INDUSTRIES. JFW MODEL 50R-029, 2006. Disponível em <<https://www.jfwindustries.com/pdf/50R-029.pdf>>. Acesso em: 10 Nov.2017b

NAIK, R. L., & H, J. S. (2014). Implementation of Space Vector Pulse Width Modulation using Arduino. International Journal of Science and Research, India, v.3, p.1706–1710, 2014.

RADIOIT. BE900 – Módulo de Comunicação sem fio. Disponível em: <<http://www.radioit.com.br/datasheets/BE900-Datasheet-v1.5.pdf>>. Acesso em: 15 maio.2017.

ROHDE&SCHWARZ. EMI Test Receivers , ESIB, (January). ROHDE&SCHWARZ. EMI Test Receivers. Disponível em:<http://cdn.rohde-schwarz.com/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/ESIB_dat_en.pdf>. Acesso em: 18 nov.2017.

ROHDE&SCHWARZ. R&S®HL562E ULTRALOG. Disponível em:<https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/service_support_30/HL562E~1.pdf>. Acesso em: 15 jan.2018.

SANTOS, B. P., SILVA, L. A. M., CELES, C. S. F. S., & BORGES, J. B. Internet das Coisas: da Teoria à Prática. Belo Horizonte: Departamento de Ciência da Computação Universidade Federal de Minas Gerais, 2016.

SOUSA, S. *The EMC Impact due Household Appliances in Smart Grid Networks*. In: PIERS Proceedings, China: 2014, p666-669.

TEXAS INSTRUMENTS. (2010). Cc1101. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc1101.pdf>> Acesso em: 15 maio.2017.

APÊNDICE A – Código do *software* de requisição em Python

```

# PROGRAMA PARA APLICAÇÃO DO AP1
import serial
import math
import time
import struct
from time import localtime, strftime

# Configura a serial
# para COM# o número que se coloca é n-1 no primeiro parâmetro. Ex
COM9 valor 8
n_serial = raw_input("Digite o número da serial = ") #seta a serial
#n_serial1 = int(n_serial) - 1
ser = serial.Serial("com"+n_serial, 9600,
timeout=0.5,parity=serial.PARITY_NONE) # seta valores da serial

# Identificação da base
ID_base = raw_input('ID_base = ')

#tempo_amostra = raw_input('Tempo entre amostras = ')

# Cria o vetor Pacote
Pacote = {}

#Cria o vetor para salvar os valores das potências
listaPotDesviou = {}
listaPotDesviou = {}

# Cria Pacote de 52 bytes com valor zero em todas as posições
for i in range(0,52): # faz um array com 52 bytes
    Pacote[i] = 0

while True:
    try:
        #Inicialização das variáveis

        contador_tot = 0
        contador_pot = 0
        potmediad = 0.0
        potacumulad = 0.0
        potmeddbd = 0.0
        contador_err = 0
        potmediau = 0.0
        potacumulau = 0.0
        potmeddbu = 0.0
        PER = 0

        AcumDPd = 0

```

```

AcumDPu = 0
AcumVad = 0
AcumVau = 0
MedDPd = 0
MedDPu = 0
DPd = 0
DPu = 0

PotMaxd = -200
PotMind = 10

PotMaxu = -200
PotMinu = 10

# Imprime na tela o menu de opções
print 'Escolha um comandos abaixo e depois enter'
print '1 - Realiza medidas:'
print 's - Para sair:'

Opcao = raw_input('Entre com a Opção = ')

# Limpa o buffer da serial
ser.flushInput()

# Coloca no pacote o ID_base

Pacote[10] = int(ID_base)
Pacote[37] = 1 #Liga o LDR

# Leitura de temperatura e luminosidade
if Opcao == "1":
    ID_sensor = raw_input('ID_sensor = ') # Identificação do sensor a
ser acessado
    Pacote[8] = int(ID_sensor) # Coloca no pacote o ID_sensor
    Pacote[16] = 0 # Coloca no pacote o ID_sensor
    num_medidas = raw_input('Entre com o número de medidas = ')
    w = int(num_medidas)

    for j in range(0,w): #Inicializa uma lista para gravar as potências e
calcular o desvio padrão
        listaPotDesvioid[j] = 0
        listaPotDesviou[j] = 0

    filename1 = strftime("Sensor_%Y_%m_%d_%H-%M-%S.txt")
    print "Arquivo de log: %s" % filename1
    S = open(filename1, 'w')

    for j in range(0,w):

```

```

for k in range(0,52): # transmite pacote
    TXbyte = chr(Pacote[k])
    ser.write(TXbyte)
# Aguarda a resposta do sensor
time.sleep(0.3)

line = ser.read(52) # faz a leitura de 52 bytes do buffer que recebe da
serial pela COM
if len(line) == 52:

    rssid = ord(line[0]) # RSSI_DownLink
    rssiu = ord(line[2]) # RSSI_UpLink

    #RSSI Downlink
    if rssid > 128:
        RSSId=((rssid-256)/2.0)-74

    else:
        RSSId=(rssid/2.0)-74

    #RSSI Uplink
    if rssiu > 128:
        RSSIu=((rssiu-256)/2.0)-74

    else:
        RSSIu=(rssiu/2.0)-74

    count = ord(line[12]) # contador de pacotes enviados pelo sensor

    # Leitura do AD0
    ad0t = ord(line[16]) # tipo de sensor - no caso está medindo
temperatura
    ad0h = ord(line[17]) # alto
    ad0l = ord(line[18]) # baixo
    AD0 = ad0h * 256 + ad0l
    Vout = 0.003223 * AD0
    TEMP = (Vout*100)-50

    # Leitura do AD1
    ad1t = ord(line[19]) # tipo de sensor - no caso está medindo LDR
    ad1h = ord(line[20]) # alto
    ad1l = ord(line[21]) # baixo
    AD1 = ad1h * 256 + ad1l

    if RSSId > PotMaxd:
        PotMaxd = RSSId

    if RSSId < PotMind:
        PotMind = RSSId

```

```

if RSSlu > PotMaxu:
    PotMaxu = RSSlu

if RSSlu < PotMinu:
    PotMinu = RSSlu

    listaPotDesvioid[contador_pot]= RSSId    #Grava a potência de
downlink para cálculo do desvio padrão
    listaPotDesviou[contador_pot]= RSSlu    #Grava a potência de
uplink para cálculo do desvio padrão

    contador_pot=contador_pot+1 #incrementa o contador utilizado
para a média de potência e para o desvio padrão

    potmwd = pow(10,(RSSId/10)) #converte a potência de downlink
em dBm para mW.
    potacumulad = potacumulad + potmwd #Soma a potência em mW
em um acumulador

    potmwu = pow(10,(RSSlu/10)) #converte a potência de uplink em
dBm para mW
    potacumulau= potacumulau + potmwu

    print'Número do pacote = ',count, 'RSSI DownLink = ', RSSId, '
RSSI UpLink ', RSSI
    print >>S,time.asctime(),' Número do pacote = ',count, 'RSSI
DownLink = ', RSSId, ' RSSI UpLink ', RSSlu

else:
    contador_err = contador_err + 1
    print ' erro'
    print >>S,time.asctime(),' erro'
    ser.flushInput()
    time.sleep(0.5)

    contador_tot = contador_tot + 1
    #time.sleep(1)

    for l in range(0,contador_pot):
        AcumVad =AcumVad+ listaPotDesvioid[l] #acumula o valor da lista
para calcular a média
        AcumVau =AcumVau+ listaPotDesviou[l] #acumula o valor da lista
para calcular a média

    MedDPd = float (AcumVad)/float(contador_pot)
    MedDPu = float (AcumVau)/float(contador_pot)

    for m in range(0,contador_pot):

```

```

        AcumDPd =AcumDPd+ pow((listaPotDesvioid[m]- MedDPd),2)
#acumula o valor da variancia
        AcumDPu =AcumDPu+ pow((listaPotDesviou[m]- MedDPu),2)
#acumula o valor da variancia
        DPd = float (AcumDPd)/float(contador_pot) #termina o calculo da
variancia
        DPu = float (AcumDPu)/float(contador_pot) #termina o calculo da
variancia
        potmediad = potacumulad /contador_pot
        potmeddbd = 10*math.log10(potmediad)
        #print ' A Potência média de downlink foi:', potmediad , ' mW'
        print 'A Potência média de Downlink em dBm foi:', potmeddbd,' dBm'
        print 'A Potência Máxima de Downlink em dBm foi:', PotMaxd,' dBm'
        print 'A Potência Mínima de Downlink em dBm foi:', PotMind,' dBm'
        print 'O Desvio Padrão do sinal de Downlink foi:', DPd
        print >>S,time.asctime(),' A Potência média de Downlink em dBm foi:',
potmeddbd,' dBm'
        print >>S,time.asctime(),'A Potência Máxima de Downlink em dBm foi:',
PotMaxd,' dBm'
        print >>S,time.asctime(),'A Potência Mínima de Downlink em dBm foi:',
PotMind,' dBm'
        print >>S,time.asctime(),'O Desvio Padrão do sinal de Downlink foi:',
DPd
        potmediau = potacumulau /contador_pot
        potmeddbu = 10*math.log10(potmediau)
        #print ' A Potência média de Uplink foi:', potmediau , ' mW'
        print 'A Potência média de Uplink em dBm foi:', potmeddbu,' dBm'
        print 'A Potência Máxima de Uplink em dBm foi:', PotMaxu,' dBm'
        print 'A Potência Mínima de Uplink em dBm foi:', PotMinu,' dBm'
        print 'O Desvio Padrão do sinal de Uplink foi:', DPu
        print >>S,time.asctime(),' A Potência média de Uplink em dBm foi:',
potmeddbu,' dBm'
        print >>S,time.asctime(),'A Potência Máxima de Uplink em dBm foi:',
PotMaxu,' dBm'
        print >>S,time.asctime(),'A Potência Mínima de Uplink em dBm foi:',
PotMinu,' dBm'
        print >>S,time.asctime(),'O Desvio Padrão do sinal de Uplink foi:', DPu
        PER = (float(contador_err)/float(contador_tot))* 100
        print 'A PER foi de:', float(PER),'%'
        print >>S,time.asctime(),'A PER foi de:', float(PER),'%'
        S.close()
    if Opcao == "s" or Opcao == "S":# caso o caracter digitado for s
        ser.close() # fecha a porta COM
        print 'Fim da Execução' # escreve na tela
        break
except KeyboardInterrupt:
    S.close()
    ser.close()
    break

```