

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
MESTRADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA E DE TELECOMUNICAÇÕES

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICAS DE  
SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO EM REDES DE COMUNICAÇÃO

Luana Merenciano da Silva

Niterói  
Maio de 2019

UFF - PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E DE  
TELECOMUNICAÇÕES

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICAS DE  
SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO EM REDES DE COMUNICAÇÃO

Luana Merenciano da Silva

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação  
em Engenharia Elétrica e de Telecomunicações da Universidade  
Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do  
título de Mestre em Engenharia Elétrica e de Telecomunicações.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Zamboti Fortes

Niterói  
Maio de 2019

(Espaço reservado para a ficha catalográfica)

LUANA MERENCIANO DA SILVA

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICAS DE  
SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO EM REDES DE COMUNICAÇÃO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação  
em Engenharia Elétrica e de Telecomunicações da Universidade  
Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do  
título de Mestre em Engenharia Elétrica e de Telecomunicações.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Marcio Zamboti Fortes

UFF

---

Prof. DSc. Pedro Vladimir Gonzalez Castellanos

UFF

---

Prof. DSc. Rodrigo Flora Calili

PUC/RJ

---

Prof. DSc. Gustavo José Santiago Rosseti

IF/MG

Niterói

Maio de 2019

O pesquisador que não sabe o que está procurando nunca entenderá o que ele encontra.  
Claude Bernard (Fisiologista francês, 1813 - 1878).

# Agradecimentos

Primeiramente à Deus, que tornou possível esse sonho e que me deu forças em todos os momentos e não me deixou desistir.

Agradeço à minha família, filha, mãe, irmão, namorado, por todo amor, incentivo, infinita paciência e apoio irrestrito.

Aos meus amigos queridos que deixei em minha cidade quando vim estudar, obrigada pelas mensagens e orações.

Aos amigos que fiz aqui no mestrado, em especial as minhas queridas Lorena e Júlia, obrigada por toda parceria nos artigos e nas matérias, pelos choros, dramas, orações, superações e conquistas nesses dois infinitos anos.

Aos amigos do LEV-UFF, por todo café, risadas, carinho, por estarem sempre presentes em minha vida, colaborando com incentivo e bom humor.

Ao professor José Thomaz da Universidade de Vassouras que foi o primeiro a me incentivar e motivar a entrar nessa aventura do saber.

Em especial, ao meu orientador, professor Márcio Zamboti por sua competência, seu apoio, por aflorar em mim a busca pelo conhecimento e por sua amizade.

Aos amigos do LABLUX – Laboratório de Luminotécnica da UFF, em especial ao Adriano, Antônio, Viviane e Keyla pelo aprendizado, pelo apoio sem barreiras e pela parceria recebida durante todo esse tempo.

Ao Joacir do LABLUX pelo apoio e colaboração nos ensaios, fundamentais na elaboração deste trabalho.

A UFF – Universidade Federal Fluminense, por ter me proporcionado a chance de estudar numa instituição de ensino de excelência.

# Resumo

Com o crescente número de redes de comunicação e protocolos (incluindo os sem fio) e o avanço das tecnologias de iluminação (LED – *Lighting Emitting Diode*, LFC – lâmpada fluorescente compacta, halógenas, entre outras.), imagina-se o caos que seria se fossem utilizados esses equipamentos e os mesmos interferissem em equipamentos eletroeletrônicos instalados próximos a estas fontes. Devido a esta condição indesejável e para que existam adequadas condições de funcionamento entres todos os equipamentos é necessário que os dispositivos tenham compatibilidade um com outro e que não causem Interferências Eletromagnética (*Electromagnetic Interference - EMI*). Sabe-se que atualmente as tecnologias Wi-Fi e Ethernet estão presentes em todos os setores, desde os comerciais até nos domiciliares, ganhando espaço notório nos sistemas de comunicação. Contudo, existem vários dispositivos que podem interferir nessas redes, reduzindo ou até mesmo causando perda de dados na transferência. A compatibilidade eletromagnética (*Electromagnetic Compatibility - EMC*) causada por equipamentos de iluminação é um fenômeno pouco conhecido e analisado no Brasil. O uso massivo de novas tecnologias precisa ser avaliado destacando uma análise crítica aos limites permissíveis. Este estudo objetiva verificar e avaliar as possíveis influências que as tecnologias de iluminação podem gerar nas redes de comunicação (especificamente neste estudo, redes Wi-Fi e Ethernet) através de interferência eletromagnética (EMI). Foram avaliados dois cenários, no primeiro cenário (Wi-Fi) realizaram-se vários testes em uma rede de 2,4GHz e no segundo cenário (Ethernet) utilizando-se cabos do tipo par trançado de categorias 5 e 6, ambos submetidos à influência de sete tecnologias de iluminação em treze amostras. Os ensaios foram realizados em ambiente blindado, nas instalações do LABLUX – UFF (Laboratório de Luminotécnica da UFF) utilizando-se o software *Iperf3*. Como resultado destes ensaios evidenciou-se que, embora os componentes eletrônicos causem interferência eletromagnética em diferentes frequências, a taxa de transmissão Wi-Fi e a Ethernet não foram afetadas por essas diferentes tecnologias.

Palavras-chave: Interferência eletromagnética, sistema de iluminação, Wi-Fi, Ethernet networks.

# Abstract

With the increasing number of communication networks and protocols (including wireless) and the advancing of lighting technologies (LED, CFL, Halogens, among others), the chaos that would be if these equipment could interfere with others installed nearby can be imagined. Because of this undesirable condition, and to make possible that these all among the equipment could operate, it's necessary that the devices have compatibility one to another, and that they don't cause Electromagnetic Interference (EMI). It's known that nowadays the Wi-Fi and Ethernet technologies are present in all departments, from commercials to domiciliary, gaining notorious space in communication systems. Though, there are many devices that can interfere in those networks, reducing or even causing data loss on transferences. The Electromagnetic Compatibility (EMC) caused by lighting equipment is a bad-known and little analyzed phenomenon in Brazil. The massive use of these technologies needs to be evaluated remarking a critical analysis about its permitted limits. This study means to verify and evaluate the possible influences that lighting technologies can generate on communication networks (specifically in this study, Wi-Fi and Ethernet) through the Electromagnetic Interference (EMI). Two situations were evaluated: In the first one (Wi-Fi) various tests have been made on a 2,4GHz network, and in the second (Ethernet) using twisted pair type cables categories 5 and 6, both submitted to the influence of seven lighting technologies devices, among thirteen samples. The tests were made on shielded environment, on the LABLUX – UFF (Laboratório de Luminotécnica da UFF) quarters, using the *Iperf3* software. As results of these tests, it's made clear that besides the electronic devices cause electromagnetic interferences in different frequencies, the Wi-Fi and Ethernet transferring rate hasn't been affected by these different technologies.

Keywords: Electromagnetic interference, Lighting systems, Wireless Network, Ethernet.



# Sumário

|                                                  |       |
|--------------------------------------------------|-------|
| Lista de Figuras.....                            | xii   |
| Lista de Tabelas .....                           | xviii |
| Lista de Abreviaturas .....                      | xix   |
| Capítulo 1 - Introdução.....                     | 1     |
| 1.1 Motivação Inicial.....                       | 4     |
| 1.2 Objetivos .....                              | 6     |
| 1.3 Principais Contribuições .....               | 6     |
| 1.4 Estrutura do Trabalho .....                  | 6     |
| Capítulo 2 - Fundamentos Teóricos .....          | 8     |
| 2.1 Breve Histórico .....                        | 8     |
| 2.2 Interferência Eletromagnética .....          | 9     |
| 2.3 Compatibilidade Eletromagnética .....        | 10    |
| 2.4 Fontes de Emissões Eletromagnéticas.....     | 11    |
| 2.5 Interferência Eletromagnética em Cabos ..... | 12    |
| 2.6 Cabo de Par Trançado .....                   | 13    |
| 2.7 Protocolos de Transportes de Pacotes .....   | 16    |
| 2.7.1 Camada de Transporte .....                 | 16    |
| 2.7.1 Protocolo TCP .....                        | 20    |
| 2.7.1 Protocolo SCTP.....                        | 21    |
| 2.7.2 Protocolo DCCP .....                       | 21    |
| 2.7.3 Protocolo UDP.....                         | 22    |
| 2.7.4 Controle de Erros.....                     | 22    |
| Capítulo 3 - A normalização .....                | 24    |
| 3.1 A Norma CISPR 22.....                        | 24    |
| 3.2 A Norma CISPR 15.....                        | 24    |

|              |                                                                |    |
|--------------|----------------------------------------------------------------|----|
| 3.3          | A Norma CISPR 16.....                                          | 25 |
| 3.4          | A Norma 61000-4-6 .....                                        | 25 |
| 3.5          | Padrões Internet.....                                          | 26 |
| 3.5.1        | Ethernet (IEEE 802.3) .....                                    | 26 |
| 3.5.2        | Wi-Fi (IEEE 802.11) .....                                      | 27 |
| Capítulo 4 - | Metodologia .....                                              | 29 |
| 4.1-         | Informações Gerais.....                                        | 29 |
| 4.1          | Ensaaios .....                                                 | 31 |
| 4.1.1        | Ensaio 1 - Avaliação do impacto de EMI em rede Wi-fi .....     | 31 |
| 4.1.1.1      | - Teste 1 .....                                                | 32 |
| 4.1.1.2      | - Teste 2 .....                                                | 33 |
| 4.1.1.3      | - Teste 3 .....                                                | 36 |
| 4.1.2        | Ensaio 2 - Avaliação do Impacto de EMI em Redes Ethernet ..... | 39 |
| 4.1.2.1-     | Teste 1 .....                                                  | 39 |
| 4.1.2.2      | - Teste 2 .....                                                | 39 |
| 4.1.2.2.1    | Montagem e procedimentos do Teste 1 .....                      | 39 |
| 4.1.2.2.2    | Montagem e procedimentos do Teste 2 .....                      | 40 |
| Capítulo 5 - | Resultados .....                                               | 42 |
| 5.1          | Testes e resultados.....                                       | 42 |
| 5.1.1        | Ensaio 1 - Teste 1 .....                                       | 42 |
| 5.1.2        | - Ensaio 1 – Teste 2 .....                                     | 43 |
| 5.1.3        | - Ensaio 1 - Teste 3 .....                                     | 45 |
| 5.1.4        | - Ensaio 2 - Teste 1 .....                                     | 49 |
| 5.1.5        | Ensaio 2 - Teste 2 .....                                       | 52 |
| Capítulo 6 - | Conclusões e Trabalhos Futuros .....                           | 56 |
| 6.1          | Conclusões .....                                               | 56 |
| 6.2          | Trabalhos Futuros.....                                         | 57 |

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| Referências Bibliográficas.....                                             | 58 |
| Anexo A - Gráficos dos Ensaio WI-FI.....                                    | 62 |
| Anexo B – Gráficos dos Ensaio Ethernet 100Mbps/s – Lâmpadas Ligadas.....    | 71 |
| Anexo C – Gráficos dos Ensaio Ethernet 100Mbps/s – Lâmpadas Desligadas..... | 76 |
| Anexo D – Gráficos dos Ensaio Ethernet 1Gbits/s – Lâmpadas Ligadas .....    | 81 |
| Anexo E – Gráficos dos Ensaio Ethernet 1Gbits/s – Lâmpadas Desligadas.....  | 86 |
| Anexo F - Artigo Publicado.....                                             | 91 |

# Lista de Figuras

|                                                                                                                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 1 - REDE COM ETHERNET. ....                                                                                                                                                                       | 4  |
| FIGURA 2 - COMPONENTES DE UMA SITUAÇÃO DE EMI. ....                                                                                                                                                      | 10 |
| FIGURA 3 - ESTRUTURA BÁSICA DA EMI/EMC.....                                                                                                                                                              | 11 |
| FIGURA 4 - CABO PAR TRANÇADO UDP .....                                                                                                                                                                   | 13 |
| FIGURA 5 - CABO PAR TRANÇADO FTP .....                                                                                                                                                                   | 14 |
| FIGURA 6 - CABO PAR TRANÇADO STP .....                                                                                                                                                                   | 14 |
| FIGURA 7 - CABO PAR TRANÇADO SSTP.....                                                                                                                                                                   | 14 |
| FIGURA 8 - CONECTOR RJ-45 .....                                                                                                                                                                          | 15 |
| FIGURA 9 - OS RESULTADOS DA COMPARAÇÃO ENTRE OS PROTOCOLOS TCP / SCTP / UDP / DCCP.....                                                                                                                  | 19 |
| FIGURA 10 - CONTROLE DE ERROS NA CAMADA DE TRANSPORTE [34] .....                                                                                                                                         | 23 |
| FIGURA 11 - UM EXEMPLO DE UM CENÁRIO TÍPICO COM DIFERENTES APLICATIVOS SEM FIO INDUSTRIAIS. [41] .....                                                                                                   | 28 |
| FIGURA 12 - SALA BLINDADA .....                                                                                                                                                                          | 30 |
| FIGURA 13 - ANALISADOR DE ESPECTRO Wi-SPY 2.4x .....                                                                                                                                                     | 31 |
| FIGURA 14 - – ESQUEMA DE MONTAGEM DA BANCADA UTILIZADA NO TESTE 2, COM DUAS ANTENAS, UMA LÂMPADA, UM<br>COMPUTADOR E O ANALISADOR DE ESPECTRO (Wi-Spy). ....                                             | 32 |
| FIGURA 15 - RUÍDO AMBIENTE DA SALA BLINDADA.....                                                                                                                                                         | 33 |
| FIGURA 16 - ROTEADOR BULLET M2 .....                                                                                                                                                                     | 34 |
| FIGURA 17 – (A). APRESENTA A BANCADA ONDE AS LÂMPADAS EM TESTE FICARAM DISPOSTAS. (B). APRESENTA UMA DAS ANTENAS DO<br>SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE DADOS JUNTAMENTE COM UM ROTEADOR MODELO BULLET M2. .... | 34 |
| FIGURA 18 - GRÁFICO DO RUÍDO MEDIDO NA SALA BLINDADA COM O PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO TCP.....                                                                                                             | 35 |
| FIGURA 19 - GRÁFICO DO RUÍDO MEDIDO NA SALA BLINDADA COM O PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO UDP.....                                                                                                             | 35 |
| FIGURA 20 – GRÁFICO DA REDE WI-FI DURANTE A TRANSFERÊNCIA DE DADOS – CANAL 6 – 10Mbps/s.....                                                                                                             | 36 |
| FIGURA 21 - CÂMARA DE SAZONAMENTO. ....                                                                                                                                                                  | 37 |
| FIGURA 22 - RUÍDO MEDIDO NA CÂMARA DE SAZONAMENTO COM AS LÂMPADAS DESLIGADAS. ....                                                                                                                       | 37 |
| FIGURA 23 - GRÁFICO DA TAXA DE TRANSMISSÃO DE DADOS ENTRE AS ANTENAS NA CÂMARA DE SAZONAMENTO COM AS LÂMPADAS<br>DESLIGADAS NO CANAL 1 E POTÊNCIA 0dBm COM O PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO TCP.....           | 38 |
| FIGURA 24 - GRÁFICO DA TAXA DE TRANSMISSÃO DE DADOS ENTRE AS ANTENAS NA CÂMARA DE SAZONAMENTO COM AS LÂMPADAS<br>DESLIGADAS NO CANAL 1 E POTÊNCIA 10dBm COM O PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO UDP.....          | 38 |
| FIGURA 25 - ESQUEMA DE MONTAGEM DA BANCADA UTILIZADA NO TESTE 1, COM DOIS NOTEBOOKS, UMA LÂMPADA DESLIGADA E UM<br>CABO PAR TRANÇADO. ....                                                               | 40 |
| FIGURA 26 - FOTO DO ESQUEMA DE MONTAGEM DO TESTE 1 REALIZADO NO LABLUX. ....                                                                                                                             | 40 |
| FIGURA 27 - ESQUEMA DE MONTAGEM DA BANCADA UTILIZADA NO TESTE 2, COM DOIS NOTEBOOKS, UM CABO DE PAR TRANÇADO E<br>UMA LÂMPADA LIGADA. ....                                                               | 41 |
| FIGURA 28 - FOTO DO ESQUEMA DE MONTAGEM DO TESTE 2 REALIZADO NO LABLUX. ....                                                                                                                             | 41 |

|                                                                                                                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 29 - ESPECTRO DO ENSAIO COM A LÂMPADA 5, MODELO LED (6500K) 6W. O ESPECTRO UNIFORME QUE ACOMPANHA O EIXO X DO GRÁFICO EXPÕE A UNIFORMIDADE DA LEITURA, OU SEJA, NÃO HÁ INTERFERÊNCIA. ....                     | 42 |
| FIGURA 30 - GRÁFICO DA TAXA DE TRANSMISSÃO DE DADOS ENTRE AS ANTENAS COM A AMOSTRA 4 (LÂMPADA LED 9W) EM ENSAIO. O PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO UTILIZADO FOI O TCP.....                                                  | 43 |
| FIGURA 31 - GRÁFICO DA TAXA DE TRANSMISSÃO DE DADOS ENTRE AS ANTENAS COM A AMOSTRA 4 (LÂMPADA LED 9W) EM ENSAIO. O PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO UTILIZADO FOI O UDP.....                                                  | 43 |
| FIGURA 32 - GRÁFICO DA TAXA DE TRANSMISSÃO DE DADOS ENTRE AS ANTENAS COM TODAS AS AMOSTRAS EM ENSAIO COM O PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO TCP.....                                                                          | 44 |
| FIGURA 33 - GRÁFICO DA TAXA DE TRANSMISSÃO DE DADOS ENTRE AS ANTENAS COM TODAS AS AMOSTRAS EM ENSAIO COM O PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO UDP.....                                                                          | 44 |
| FIGURA 34 - RUÍDO MEDIDO NA CÂMARA DE SAZONAMENTO COM AS LÂMPADAS LIGADAS. ....                                                                                                                                       | 45 |
| FIGURA 35 – GRÁFICO DA TAXA DE TRANSMISSÃO DE DADOS ENTRE AS ANTENAS NA SALA DE SAZONAMENTO COM AS LÂMPADAS LIGADAS. O ENSAIO FOI REALIZADO NA POTÊNCIA DE 0dBm, CANAL 1 E COM O PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO TCP.....    | 45 |
| FIGURA 36 - GRÁFICO DA TAXA DE TRANSMISSÃO DE DADOS ENTRE AS ANTENAS NA SALA DE SAZONAMENTO COM AS LÂMPADAS LIGADAS. O ENSAIO FOI REALIZADO NA POTÊNCIA DE 0dBm, CANAL 6 E COM O PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO UDP.....    | 46 |
| FIGURA 37 - GRÁFICO DA TAXA DE TRANSMISSÃO DE DADOS ENTRE AS ANTENAS NA SALA DE SAZONAMENTO COM AS LÂMPADAS LIGADAS. O ENSAIO FOI REALIZADO NA POTÊNCIA DE 10dBm, CANAL 1 E COM O PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO TCP.....   | 46 |
| FIGURA 38 - GRÁFICO DA TAXA DE TRANSMISSÃO DE DADOS ENTRE AS ANTENAS NA SALA DE SAZONAMENTO COM AS LÂMPADAS LIGADAS. O ENSAIO FOI REALIZADO NA POTÊNCIA DE 10dBm, CANAL 1 E COM O PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO UDP.....   | 47 |
| FIGURA 39 - GRÁFICO DA TAXA DE TRANSMISSÃO DE DADOS ENTRE AS ANTENAS NA SALA DE SAZONAMENTO COM AS LÂMPADAS LIGADAS. O ENSAIO FOI REALIZADO NA POTÊNCIA DE 10dBm, CANAL 6 E COM O PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO TCP.....   | 47 |
| FIGURA 40 - GRÁFICO DA TAXA DE TRANSMISSÃO DE DADOS ENTRE AS ANTENAS NA SALA DE SAZONAMENTO COM AS LÂMPADAS LIGADAS. O ENSAIO FOI REALIZADO NA POTÊNCIA DE 10dBm, CANAL 6 E COM O PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO UDP.....   | 47 |
| FIGURA 41 - GRÁFICO DA TAXA DE TRANSMISSÃO DE DADOS ENTRE AS ANTENAS NA SALA DE SAZONAMENTO COM AS LÂMPADAS LIGADAS. O ENSAIO FOI REALIZADO NA POTÊNCIA DE 10dBm, CANAL 11 E COM O PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO TCP. .... | 48 |
| FIGURA 42 - GRÁFICO DA TAXA DE TRANSMISSÃO DE DADOS ENTRE AS ANTENAS NA SALA DE SAZONAMENTO COM AS LÂMPADAS LIGADAS. O ENSAIO FOI REALIZADO NA POTÊNCIA DE 10dBm, CANAL 11 E COM O PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO UDP.....  | 48 |
| FIGURA 43- ENSAIO REALIZADO COM A AMOSTRA 6 DESLIGADA. PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO TCP E TAXA DE TRANSMISSÃO NOMINAL DE 100MBITS/s. ....                                                                                 | 49 |
| FIGURA 44 - - ENSAIO REALIZADO COM A AMOSTRA 6 DESLIGADA. PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO UDP E TAXA DE TRANSMISSÃO NOMINAL DE 100MBITS/s. ....                                                                              | 50 |
| FIGURA 45 - ENSAIO REALIZADO COM A AMOSTRA 6 DESLIGADA. PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO TCP E TAXA DE TRANSMISSÃO NOMINAL DE 1GBITS/s. ....                                                                                  | 50 |
| FIGURA 46 - ENSAIO REALIZADO COM A AMOSTRA 6 DESLIGADA. PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO UDP E TAXA DE TRANSMISSÃO NOMINAL DE 1GBITS/s. ....                                                                                  | 50 |
| FIGURA 47 - ENSAIO REALIZADO COM A AMOSTRA 6 LIGADA. PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO TCP E TAXA DE TRANSMISSÃO NOMINAL DE 100MBITS/s. ....                                                                                   | 52 |

|                                                                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 48 - ENSAIO REALIZADO COM A AMOSTRA 6 LIGADA. PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO UDP E TAXA DE TRANSMISSÃO NOMINAL DE 100MBITS/s. ....             | 53 |
| FIGURA 49 - ENSAIO REALIZADO COM A AMOSTRA 6 LIGADA. PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO TCP E TAXA DE TRANSMISSÃO NOMINAL DE 1GBITS/s. ....               | 53 |
| FIGURA 50 - ENSAIO REALIZADO COM A AMOSTRA 6 LIGADA. PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO UDP E TAXA DE TRANSMISSÃO NOMINAL DE 1GBITS/s. ....               | 53 |
| FIGURA 51 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE WI-FI - LÂMPADA FLUORESCENTE 15W. ....                                 | 62 |
| FIGURA 52 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE WI-FI - LÂMPADA FLUORESCENTE 22W. ....                                 | 62 |
| FIGURA 53 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE WI-FI - LÂMPADA FLUORESCENTE 42W. ....                                 | 62 |
| FIGURA 54 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE WI-FI - LÂMPADA FLUORESCENTE 42W. ....                                 | 63 |
| FIGURA 55 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE WI-FI - HALÓGENA. ....                                                 | 63 |
| FIGURA 56 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE WI-FI - INCANDESCENTE. ....                                            | 63 |
| FIGURA 57 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE WI-FI - LED 6W - 3000K. ....                                           | 64 |
| FIGURA 58 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE WI-FI - LED 6W - 6500K. ....                                           | 64 |
| FIGURA 59 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE WI-FI - LED 9W - 6500K. ....                                           | 64 |
| FIGURA 60 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE WI-FI - LED 12W. ....                                                  | 65 |
| FIGURA 61 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE WI-FI - LED TUBULAR. ....                                              | 65 |
| FIGURA 62 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE WI-FI - VS 250W. ....                                                  | 65 |
| FIGURA 63 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE WI-FI - VS 400W. ....                                                  | 66 |
| FIGURA 64 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE WI-FI - TODAS AS LÂMPADAS. ....                                        | 66 |
| FIGURA 65 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE WI-FI - RUÍDO 1. ....                                                  | 66 |
| FIGURA 66 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE WI-FI - RUÍDO 2. ....                                                  | 67 |
| FIGURA 67 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE WI-FI - RUÍDO 3. ....                                                  | 67 |
| FIGURA 68 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE WI-FI - RUÍDO 4. ....                                                  | 67 |
| FIGURA 69 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE WI-FI - RUÍDO 5. ....                                                  | 68 |
| FIGURA 70 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE WI-FI - RUÍDO 6. ....                                                  | 68 |
| FIGURA 71 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE WI-FI - RUÍDO 9. ....                                                  | 68 |
| FIGURA 72 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE WI-FI - RUÍDO 10. ....                                                 | 69 |
| FIGURA 73 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE WI-FI - RUÍDO 11. ....                                                 | 69 |
| FIGURA 74 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE WI-FI - RUÍDO 12. ....                                                 | 69 |
| FIGURA 75 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE WI-FI - RUÍDO 13. ....                                                 | 70 |
| FIGURA 76 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE WI-FI - RUÍDO 14. ....                                                 | 70 |
| FIGURA 77 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE WI-FI - RUÍDO 15. ....                                                 | 70 |
| FIGURA 78 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET 100MBITS/S COM A LÂMPADA LIGADA - LÂMPADA INCANDESCENTE. .... | 71 |
| FIGURA 79 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET 100MBITS/S COM A LÂMPADA LIGADA - LÂMPADA LED 3000K. ....     | 71 |

|                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 80 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET 100MBITS/S COM A LÂMPADA   |    |
| LIGADA – LÂMPADA LED 9W. ....                                                                                | 72 |
| FIGURA 81 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET 100MBITS/S COM A LÂMPADA   |    |
| LIGADA – LÂMPADA LED 6W (6500K). ....                                                                        | 72 |
| FIGURA 82 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET 100MBITS/S COM A LÂMPADA   |    |
| LIGADA – LÂMPADA LED 12W. ....                                                                               | 72 |
| FIGURA 83 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET 100MBITS/S COM A LÂMPADA   |    |
| LIGADA – LÂMPADA LED 15W. ....                                                                               | 73 |
| FIGURA 84 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET 100MBITS/S COM A LÂMPADA   |    |
| LIGADA – LÂMPADA LED 22W. ....                                                                               | 73 |
| FIGURA 85 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET 100MBITS/S COM A LÂMPADA   |    |
| LIGADA – LÂMPADA LED 42W. ....                                                                               | 73 |
| FIGURA 86 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET 100MBITS/S COM A LÂMPADA   |    |
| LIGADA – LÂMPADA HALÓGENA. ....                                                                              | 74 |
| FIGURA 87 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET 100MBITS/S COM A LÂMPADA   |    |
| LIGADA – LÂMPADA VS 150W. ....                                                                               | 74 |
| FIGURA 88 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET 100MBITS/S COM A LÂMPADA   |    |
| LIGADA – LÂMPADA VS 400W. ....                                                                               | 74 |
| FIGURA 89 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET 100MBITS/S COM A LÂMPADA   |    |
| LIGADA – FLUORESCENTE TUBULAR. ....                                                                          | 75 |
| FIGURA 90 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET 100MBITS/S COM A LÂMPADA   |    |
| LIGADA – LED TUBULAR. ....                                                                                   | 75 |
| FIGURA 91 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET 100MBITS/S COM A LÂMPADA   |    |
| LIGADA – TODAS. ....                                                                                         | 75 |
| FIGURA 92 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET 100MBITS/S COM A LÂMPADA   |    |
| DESLIGADA – LÂMPADA INCANDESCENTE. ....                                                                      | 76 |
| FIGURA 93 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET 100MBITS/S COM A LÂMPADA   |    |
| DESLIGADA – LÂMPADA LED 3000K.....                                                                           | 76 |
| FIGURA 94 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET – 100MBITS/S COM A LÂMPADA |    |
| DESLIGADA – LED 9W. ....                                                                                     | 77 |
| FIGURA 95 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET – 100MBITS/S COM A LÂMPADA |    |
| DESLIGADA – LED 6W. ....                                                                                     | 77 |
| FIGURA 96 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET – 100MBITS/S COM A LÂMPADA |    |
| DESLIGADA – LED 12W. ....                                                                                    | 77 |
| FIGURA 97 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET – 100MBITS/S COM A LÂMPADA |    |
| DESLIGADA – FLUORESCENTE 15W. ....                                                                           | 78 |

|                                                                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 98 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET – 100MBITS/S COM A LÂMPADA<br>DESLIGADA – FLUORESCENTE 22W. ....      | 78 |
| FIGURA 99 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET – 100MBITS/S COM A LÂMPADA<br>DESLIGADA – FLUORESCENTE 42W. ....      | 78 |
| FIGURA 100 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET – 100MBITS/S COM A LÂMPADA<br>DESLIGADA – HALÓGENA. ....             | 79 |
| FIGURA 101 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET – 100MBITS/S COM A LÂMPADA<br>DESLIGADA – VS 150W. ....              | 79 |
| FIGURA 102 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET – 100MBITS/S COM A LÂMPADA<br>DESLIGADA – VS 400W. ....              | 79 |
| FIGURA 103 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET – 100MBITS/S COM A LÂMPADA<br>DESLIGADA – FLUORESCENTE TUBULAR. .... | 80 |
| FIGURA 104 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET – 100MBITS/S COM A LÂMPADA<br>DESLIGADA – LED TUBULAR. ....          | 80 |
| FIGURA 105 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET – 100MBITS/S COM A LÂMPADA<br>DESLIGADA – TODAS. ....                | 80 |
| FIGURA 106 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET – 1GBITS/S COM A LÂMPADA<br>LIGADA – INCANDESCENTE. ....             | 81 |
| FIGURA 107 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET – 1GBITS/S COM A LÂMPADA<br>LIGADA – LED 3000K. ....                 | 81 |
| FIGURA 108 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET – 1GBITS/S COM A LÂMPADA<br>LIGADA – LED 9W. ....                    | 81 |
| FIGURA 109 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET – 1GBITS/S COM A LÂMPADA<br>LIGADA – LED 6W (6500K). ....            | 82 |
| FIGURA 110 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET – 1GBITS/S COM A LÂMPADA<br>LIGADA – LED 12W. ....                   | 82 |
| FIGURA 111 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET – 1GBITS/S COM A LÂMPADA<br>LIGADA – FLUORESCENTE 15W. ....          | 82 |
| FIGURA 112 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET – 1GBITS/S COM A LÂMPADA<br>LIGADA – FLUORESCENTE 22W. ....          | 83 |
| FIGURA 113 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET – 1GBITS/S COM A LÂMPADA<br>LIGADA –FLUORESCENTE 42W. ....           | 83 |
| FIGURA 114 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET – 1GBITS/S COM A LÂMPADA<br>LIGADA –HALÓGENA. ....                   | 83 |
| FIGURA 115 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET – 1GBITS/S COM A LÂMPADA<br>LIGADA – VS 150W. ....                   | 84 |



|                                                                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 116 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET – 1GBITS/S COM A LÂMPADA LIGADA –VS 400W. ....                  | 84 |
| FIGURA 117 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET – 1GBITS/S COM A LÂMPADA LIGADA – FLUORESCENTE TUBULAR. ....    | 84 |
| FIGURA 118 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET – 1GBITS/S COM A LÂMPADA LIGADA – LED 6W (6500K). ....          | 85 |
| FIGURA 119 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET – 1GBITS/S COM A LÂMPADA LIGADA – LED 6W (6500K). ....          | 85 |
| FIGURA 120 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET – 1GBITS/S COM A LÂMPADA DESLIGADA – INCANDESCENTE. ....        | 86 |
| FIGURA 121 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET – 1GBITS/S COM A LÂMPADA DESLIGADA – LED 3000K. ....            | 86 |
| FIGURA 122 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET – 1GBITS/S COM A LÂMPADA DESLIGADA – LED 9W. ....               | 87 |
| FIGURA 123 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET – 1GBITS/S COM A LÂMPADA DESLIGADA – LED 6W. ....               | 87 |
| FIGURA 124 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET – 1GBITS/S COM A LÂMPADA DESLIGADA – LED 12W. ....              | 87 |
| FIGURA 125 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET – 1GBITS/S COM A LÂMPADA DESLIGADA – FLUORESCENTE 15W. ....     | 88 |
| FIGURA 126 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET – 1GBITS/S COM A LÂMPADA DESLIGADA – FLUORESCENTE 22W. ....     | 88 |
| FIGURA 127 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET – 1GBITS/S COM A LÂMPADA DESLIGADA – FLUORESCENTE 42W. ....     | 88 |
| FIGURA 128 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET – 1GBITS/S COM A LÂMPADA DESLIGADA – HALÓGENA. ....             | 89 |
| FIGURA 129 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET – 1GBITS/S COM A LÂMPADA DESLIGADA – VS 150W. ....              | 89 |
| FIGURA 130 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET – 1GBITS/S COM A LÂMPADA DESLIGADA – VS 400W. ....              | 89 |
| FIGURA 131 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET – 1GBITS/S COM A LÂMPADA DESLIGADA – FLUORESCENTE TUBULAR. .... | 90 |
| FIGURA 132 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET – 1GBITS/S COM A LÂMPADA DESLIGADA – LED TUBULAR. ....          | 90 |
| FIGURA 133 - RESULTADO DO ENSAIO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NA REDE ETHERNET – 1GBITS/S COM A LÂMPADA DESLIGADA – TODAS. ....                | 90 |

# Lista de Tabelas

|                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| TABELA 1 - AS CATEGORIAS DE CABEAMENTO DE PAR TRANÇADO E A DESCRIÇÃO DE CADA UMA DELAS. COMER, 2016) ..... | 16 |
| TABELA 2 - LÂMPADAS USADAS NOS ENSAIOS.....                                                                | 30 |
| TABELA 3 - LÂMPADAS DESLIGADAS (100 MBITS/s) .....                                                         | 51 |
| TABELA 4 - LÂMPADAS DESLIGADAS (100 MBITS/s) .....                                                         | 52 |
| TABELA 5 - LÂMPADAS LIGADAS (100 MBITS/s) .....                                                            | 54 |
| TABELA 6 - LÂMPADAS LIGADAS (1 GBITS/s) .....                                                              | 55 |
| TABELA 7 - DIFERENÇAS ENTRE SISTEMAS OPERACIONAIS (1 GBITS/s) .....                                        | 55 |

# Lista de Abreviaturas

|         |                                                                 |
|---------|-----------------------------------------------------------------|
| ABNT    | Associação Brasileira de Normas Técnicas                        |
| ANSI    | <i>American National Standards</i>                              |
| CAT 5   | Categoria 5                                                     |
| CAT 6   | Categoria 6                                                     |
| CISPR   | Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques |
| DCCP    | <i>Datagram Congestion Control Protocol</i>                     |
| EIA     | <i>Electronic Industries Alliance</i>                           |
| EMC     | <i>Electromagnetic Compatibility</i>                            |
| EMI     | <i>Electromagnetic Interference</i>                             |
| IEC     | <i>International Electrotechnical Commission</i>                |
| IEEE    | <i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>        |
| INMETRO | Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia        |
| LABLUX  | Laboratório de Luminotécnica da UFF                             |
| LED     | <i>Lighting Emitting Diode</i>                                  |
| LFC     | Lâmpada Fluorescente Compacta                                   |
| NBR     | Norma Brasileira Regulamentadora                                |
| QEE     | Qualidade da Energia Elétrica                                   |
| SCTP    | <i>Stream Control Transmission Protocol</i>                     |
| TCP     | <i>Transmission Control Protocol</i>                            |
| TIA     | <i>Telecommunications Industry Association</i>                  |
| UDP     | <i>User Datagram Protocol</i>                                   |
| UFF     | Universidade Federal Fluminense                                 |
| Wi-Fi   | <i>Wireless Fidelity</i>                                        |

# Capítulo 1 - Introdução

A interferência eletromagnética pode ser definida, como um campo ou onda elétrica e magnética, que pode ou não alterar o funcionamento e danificar um equipamento, dispositivo ou aparelho, interrompendo a transferência de dados ou energia entre os mesmos [1].

Esse fenômeno pode estar presente no ambiente ou em cabos de instalações elétricas industriais, comerciais ou residenciais. Trata-se de um sinal (ruído) de alta frequência que pode ser irradiado através do ar ou propagado através dos cabos elétricos [2].

Com a intensificação do uso de equipamentos eletrônicos, os problemas de interferência eletromagnética, tem se tornado cada vez mais recorrentes na sociedade moderna. Portanto, faz-se necessária uma blindagem EMI (*Electromagnetic Interference*) para proteger o espaço de trabalho e o ambiente das radiações provenientes de computadores e equipamentos de telecomunicações, bem como para a segurança de equipamentos sensíveis [3].

Devido à necessidade de diferentes equipamentos, circuitos e redes funcionarem num mesmo ambiente com menor probabilidade de causarem interferências entre si, algumas normas tem sido criadas prevendo a EMC (*Electromagnetic Compatibility*) dos mesmos, tais como ABNT-NBR IEC/CISPR 15, que define os Limites e métodos de medição das rádioperturbações características dos equipamentos elétricos de iluminação e similares [4], e ainda a ABNT-NBR IEC/CISPR 22 que define Equipamento de tecnologia da informação – Características de radioperturbação – Limite e métodos de medição [5]. Assim, um sistema eletrônico ou um equipamento poderá funcionar corretamente sendo imune em um ambiente susceptível a campos eletromagnéticos, e ainda operar sem provocar interferência em outros sistemas existentes, princípio fundamental para garantir a interoperabilidade entre sistemas [6].

As tecnologias Wi-Fi e Ethernet cresceram e expandiram-se ao longo dos últimos anos e hoje estão presentes em todos os setores (comerciais e industriais) e domicílios. Juntamente com este crescimento aumentou-se a probabilidade de interferência eletromagnética e também a possível perdas de pacotes de dados nessas redes através de vários dispositivos.

A partir de estudos é possível verificar que alguns equipamentos têm sido responsáveis por problemas de EMI em redes *wireless*, tais como telefones sem fio [7] e forno micro-ondas [1], por exemplo.

Além disso, pode-se afirmar que a EMI é um dos maiores causadores de falhas em redes de computadores, principalmente quando são utilizadas tubulações e canaletas inadequadas para o transporte da infraestrutura de cabeamento [3]. Em equipamentos e dispositivos, a EMI pode ser gerada por centelhamento nas escovas de motores, chaveamento de circuitos de potência, em acionamentos de cargas indutivas e resistivas, acionamentos de relés, chaves, disjuntores, cabos elétricos, lâmpadas fluorescentes, aquecedores, ignições automotivas, descargas atmosféricas e até mesmo descargas eletrostáticas entre pessoas e equipamentos [1]. Tudo isto pode provocar alterações causando sobretensão, subtensão, picos, transientes, etc. essa interferência eletromagnética também pode influenciar o comportamento da transferência de dados em redes de computadores [1].

A convivência de equipamentos em diversas tecnologias diferentes somada à inadequação das instalações, facilitam a emissão de energia eletromagnética e com isto pode-se ter problemas de compatibilidade eletromagnética.

Portanto, visto que as tecnologias de comunicação estão fortemente presentes em todo lugar, faz-se necessário realizar estudos com o objetivo de verificar o comportamento destas redes quando submetidas ao ruído causado por determinado gerador de EMI e avaliar a aplicação de padrões que possam limitar estes ruídos.

As tecnologias Wi-Fi e Ethernet, são regulamentadas pelos padrões IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*). A rede *wireless* é regulamentada pelo padrão IEEE 802.11b [8], também conhecido como Wi-Fi (*Wireless Fidelity*), que produziu um padrão que especifica o DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*) como técnica de modulação de dados e opera na banda ISM (*Industrial, Scientific, Medical*) de 2,4GHz, com taxa de transmissão teórica de até 11Mbps/s. Esta taxa depende, entre outras coisas, da distância entre os dispositivos, da qualidade e potência do sinal. O baixo custo dos seus dispositivos e taxa de transmissão utilizados, fizeram com que este padrão se tornasse amplamente difundido nas redes sem fio. Porém, um ponto negativo é a alta interferência tanto na transmissão como na recepção de sinais, funcionando a 2,4GHz, ocupando a mesma faixa de frequência de telefones móveis, fornos microondas e dispositivos Bluetooth [9].

Um equipamento que tem potencial para causar interferências em rede *wireless*, são as lâmpadas fluorescentes, pois seus componentes eletrônicos podem causar interferências eletromagnéticas em outras faixas de frequências, gerando um sinal com uma frequência que pode sobrepor o sinal da rede sem fio Wi-Fi, que pode influenciar ou anular o sinal emitido pelo ponto de acesso [10].

A rede Ethernet é regulamentada pela norma IEEE 802.3 [11] que define padrões para o funcionamento, fabricação, uso e manutenção das redes de Ethernet. Este é o padrão geral para estes tipos de arquitetura de interconexão que conectam dois ou mais aparelhos, para que os mesmos se comuniquem [11].

O padrão IEEE 802.3 refere-se a um conjunto de protocolos que definem redes de área local (LAN). Ele cobre a operação, taxa de transmissão e conexões de dispositivos em um ambiente LAN e consiste de três elementos: o meio físico, as regras de controle de acesso ao meio e o quadro ethernet. O padrão define como os dados serão transmitidos através dos cabos da rede. Tem como função agrupar os dados entregues pelos protocolos de alto nível (TCP/IP, por exemplo) e inseri-los dentro dos quadros (frames) que serão enviados através da rede [12]. Para simplificar os padrões de rede, os cabos foram divididos em categorias, que são especificações criadas para cabos de par trançado. Os cabos utilizados nesse trabalho são os de categorias nomeadas CAT 5 e CAT 6.

O cabo CAT 5 (Categoria 5) fornece recursos suficientes para suportar o padrão *Fast Ethernet* (100BASE-TX, por exemplo, com taxas de transferência de dados de até 100Mbps/s) e padrão *Gigabit Ethernet* (1000base-T, por exemplo, com Taxa de Transmissão de dados de até 1000Mbps/s) [13]. O CAT 6 (Categoria 6) fornece recursos suficientes para suportar o padrão *Gigabit Ethernet* (10GBase-T, por exemplo, com velocidades máximas de até 10 Gbps/s) [14].

Embora menos usados, também existem padrões para cabos de fibra óptica, que são popularmente utilizados para criar *backbones*, interligando duas redes distantes [15]. A grande vantagem da fibra monomodo, cabos de fibra óptica, é a possibilidade de transmissão de sinais (sem regeneração) de até 120 quilômetros. No caso das fibras multimodo, a faixa máxima de transmissão é de cerca de 2 Km [16].

A Figura 1 ilustra as conexões de uma rede com Ethernet:



Figura 1 - Rede com Ethernet.

Considerando-se a necessidade de aperfeiçoamento nos sistemas de comunicação das redes wireless e Ethernet, bem como observar o efeito de diversos tipos de lâmpadas nessas redes, o trabalho que se segue, busca investigar a influência de EMI produzida por sete tecnologias de iluminação distintas na rede wireless (2,4GHz) e na rede *Ethernet* avaliando-se os geradores de pacote como possível ponto de redução das taxas na transmissão de dados.

## 1.1 Motivação Inicial

Nos dias atuais percebe-se um significativo aumento do número de sistemas de comunicação e protocolos, desde as redes cabeadas às sem fio. Visualiza-se também grande desenvolvimento de novas tecnologias de iluminação, como as Lâmpadas Fluorescente Compactas (LFCs) e a tecnologia LED, não podendo esquecer de diversos equipamentos sendo instalados utilizando sistemas de comunicação dedicados com aplicativos como o Arduino, Zigbee, Raspberry PI entre outros e o desenvolvimento acelerado da domótica devido ao crescimento das chamadas *smart home* (casa inteligente) [17]. A IoT (internet das coisas) está rapidamente ganhando espaço no serviço e na aplicação das mais recentes comunicações sem fio e eletrônicas. Além disso, a IoT é uma rede de informação global dinâmica e adaptável de uma casa ou cidade composta de objetos e coisas conectados à Internet, como sensores, atuadores, identificações de radiofrequência e objetos físicos, além

de outras organizações e dispositivos que estão se tornando um elemento vital da Internet [17].

Um ambiente doméstico inteligente que funcione eficientemente requer novas vias para que os humanos se comuniquem com ele, eliminando o uso de métodos tradicionais de troca de parede. Além disso, as técnicas de automação e os objetivos de pesquisa foram executados no passado para melhorar a eficiência e a experiência dos ambientes periféricos. Essas técnicas são uma variedade de implementações de hardware (por exemplo, dispositivos manuais de computação; microcontroladores como Arduino e Raspberry PI) e protocolos de comunicação (por exemplo, Bluetooth, Zigbee, e-mail, SMS) [18].

Diante da grande demanda dos equipamentos eletrônicos que são utilizados a fim de facilitar as atividades diárias, é importante garantir que com a utilização destes equipamentos não haja interferência. Para tanto, o conceito de compatibilidade eletromagnética tornou-se um item em destaque, à medida que se espera que um equipamento funcione dentro dos limites permissíveis de compatibilidade eletromagnética, ou seja, de modo que não interfiram entre si.

A compatibilidade eletromagnética, remete aos conceitos de interferência eletromagnética (EMI) e a susceptibilidade eletromagnética. A interferência eletromagnética é um distúrbio provocado pelos circuitos internos dos equipamentos eletroeletrônicos (rádios, computadores, lâmpadas, entre outros) e também por eventos naturais que atingem a rede elétrica (por exemplo, descargas atmosféricas), causando uma resposta indesejada, mau funcionamento ou degradação de performance de equipamentos.

A susceptibilidade eletromagnética é a capacidade que tem um equipamento em magnetizar-se sob a ação de uma estimulação magnética - de um campo magnetizante - ao qual este é submetido.

A interferência eletromagnética causada por equipamentos de iluminação ainda é um fenômeno pouco conhecido e disseminado no Brasil. O uso massivo das novas tecnologias de iluminação que vem ganhando visibilidade no mercado, e deve ser avaliado destacando limites permissíveis de EMC.

Entretanto, a normatização brasileira não possui uma regulamentação para definir tais limites de EMC, e para tal, utiliza-se no Brasil o padrão internacional IEC 61000-4-6 [19] para fins de Compatibilidade Eletromagnética, que ainda assim, não compreende todos os equipamentos e não possui especificidade para restrições tecnológicas, em especial equipamentos de luminotécnica.



## 1.2 Objetivos

O objetivo principal deste estudo é verificar e avaliar as possíveis interferências que as tecnologias de iluminação podem gerar em redes de comunicação, sendo esta pesquisa focada nas redes Wi-Fi e Ethernet. O estudo foi realizado através de medições da interferência eletromagnética (EMI) e comparação com os limites considerados aceitáveis pela norma 61000-4-6 [19]. Para tanto, foram realizados ensaios em dois cenários, o primeiro cenário foi realizado utilizando a rede Wi-Fi de 2,4 GHz e o segundo cenário a rede Ethernet, os padrões usados do protocolo ethernet foram os de 100 Mbits/s e 1 Gbits/s. As redes de comunicação utilizaram no primeiro caso antenas e no segundo cabos do tipo par trançado, de categoria 5 e 6. Em ambos os ensaios sete diferentes tecnologias de iluminação em treze amostras foram submetidas à influência das redes geradas.

Vale ressaltar que as amostras foram escolhidas de forma a obter representação dos tipos de lâmpadas mais usuais no mercado. Além disso, todos os testes foram realizados em uma sala blindada no LABLUX – UFF (Laboratório de Luminotécnica da UFF), com suporte dos *softwares Iperf3, Chanalyzer*.

## 1.3 Principais Contribuições

Dentre as principais contribuições desta pesquisa e dissertação pode-se destacar:

- Avaliação dos equipamentos luminotécnicos disponíveis no mercado brasileiro e avaliados pelo LABLUX no contexto de EMC e EMI;
- Apresentar a sociedade uma análise frente a normas internacionais da qualidade dos produtos de luminotécnica avaliados em comparação a normatizações internacionais;
- Consolidar o LABLUX como laboratório de pesquisas inserindo em sua lista de atividades avaliações relativas a interferências eletromagnéticas;
- Introduzir esta linha de estudos nos cursos de pós-graduação em Engenharia Elétrica e de Telecomunicações, abrindo espaço para novas pesquisas e em outros equipamentos.

## 1.4 Estrutura do Trabalho

Esta dissertação está dividida em 7 capítulos, neste primeiro capítulo introdutório, foi apresentado o contexto em que o trabalho está envolvido, assim como suas principais motivações e objetivos.

- O Capítulo 2, "FUNDAMENTOS TEÓRICOS" apresenta-se os fundamentos da Compatibilidade Eletromagnética, um breve histórico sobre EMI, passando pela caracterização dos cabos (telefônico, de controle e par trançado), relacionando os receptores de interferência eletromagnética.
- O Capítulo 3, "A NORMALIZAÇÃO", apresentam-se as normas e as legislações pertinentes.
- O Capítulo 4, "METODOLOGIA", apresentam-se os cenários utilizados para a realização dos ensaios, as antenas utilizadas, *softwares*, ensaios laboratoriais e equipamentos utilizados.
- O Capítulo 5, "RESULTADOS", apresentam-se os resultados obtidos a partir de ensaios laboratoriais realizados, para todas as configurações propostas, a fim de verificar a possível interferência em redes de comunicação.
- O Capítulo 6, "CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS", apresentam-se as conclusões desta dissertação, evidenciando a importância e contribuição das análises aqui realizadas. Posteriormente é discutido sobre os trabalhos que possam ser realizados em complemento ao proposto neste trabalho.

Em anexos apresentam-se os gráficos extraídos de todos os modelos de lâmpadas ensaiadas para a realização deste trabalho para comprovação dos ensaios e referência para outras pesquisas que possam ser realizadas dentro deste mesmo tema.

## Capítulo 2 - Fundamentos Teóricos

Ao se pensar em proteção para equipamentos eletrônicos e redes de computadores, a atenção recai sobre riscos de curto-circuito, surtos de corrente e descargas atmosféricas e a interferência eletromagnética, geralmente é esquecida. No entanto, este tipo de interferência pode causar problemas no funcionamento dos equipamentos e, até mesmo, inutilizá-los.

Para se ter uma ideia, a interferência eletromagnética está se tornando uma das maiores causas de perturbações nas transmissões de dados em redes de computadores [20].

### 2.1 Breve Histórico

Interferência eletromagnética, também conhecida como EMI (*Electromagnetic Interference*) é um distúrbio que pode ser provocado pelos circuitos internos dos equipamentos eletroeletrônicos (rádios, computadores, lâmpadas, etc.) e também por fontes naturais que atingem a rede elétrica (descargas atmosféricas, por exemplo), causando consequências indesejadas, mau funcionamento ou degradação no desempenho de equipamentos eletrônicos [21].

Casos de EMI foram relatados durante a segunda guerra mundial (1939 - 1945) devido a utilização de rádios, dispositivos de navegação e radares [22]. Porém, o maior problema de interferência foi devido a inserção do mercado dos componentes eletrônicos como por exemplo, transistores, circuitos integrados e os microprocessadores [22]. Os chassis dos equipamentos, assim como os cabos de força e de interligação, captavam facilmente a interferência eletromagnética de outros equipamentos próximos e, os ruídos gerados, por apresentarem amplo espectro de frequências, tornavam-se muito difíceis de serem filtrados. Aspectos específicos a equipamentos eletrônicos possuem tratativas especiais, como exemplo pode-se citar os efeitos da EMI em conversores de potência abordado com detalhes em [23].

Devido ao fato de ter crescido a ocorrência de interferência nos sistemas digitais de radiocomunicação, a FCC (*Federal Communications Commission*), dos Estados Unidos, publicou uma regulamentação que preconizava os limites de emissões de todos os dispositivos digitais. Os primeiros estudos sobre interferência eletromagnética em equipamentos eletrônicos ocorreram a partir do final da década de 1970 e início dos anos 80 após relatos de interferência em equipamentos médicos [22].

## 2.2 Interferência Eletromagnética

A interferência eletromagnética ou EMI (*Electromagnetic Interference*) é definida como sendo qualquer distúrbio eletromagnético, intencional ou não, que interrompe, obstrui, degrada ou limita o desempenho efetivo de um sistema ou equipamento seja ele, elétrico ou eletrônico.

A interferência eletromagnética pode ser radiada (via ar), conduzida (via condutores), induzida (normalmente acima de 30MHz) ou combinação das mesmas [1]. A preocupação com os efeitos dessas interferências está presente em todos os setores, em [24] está apresentado uma análise das normas e padrões aplicados a comunicação wireless em sistemas de transportes ferroviário, incluindo uma comparação das possíveis interferências causadas pelos telefones celulares de diferentes fabricantes.

A utilização de equipamentos de diversas tecnologias diferentes somada à inadequação das instalações, facilitam a emissão de energia eletromagnética e com isto pode-se ter problemas de compatibilidade eletromagnética onde o funcionamento de um equipamento pode afetar o outro. Isto é muito comum nas indústrias e fábricas, onde a EMI é muito frequente em função do maior uso de máquinas (equipamento de soldagem, por exemplo), motores elétricos, próximos a redes digitais e computadores [1].

Dessa forma, para que ocorra uma situação de interferência eletromagnética, três elementos devem estar presentes. Sendo eles, uma fonte de perturbação eletromagnética, um percurso de acoplamento onde as perturbações são transmitidas, e um receptor que sofre os efeitos dos sinais recebidos. A Figura 2 mostra diversas fontes, meios de propagação e receptores de EMI.



Figura 2 - Componentes de uma situação de EMI.

## 2.3 Compatibilidade Eletromagnética

A EMC é a capacidade que um dispositivo, aparelho ou sistema elétrico ou eletrônico, tem de funcionar satisfatoriamente em um ambiente eletromagnético sem que produza, degradação no funcionamento dos aparelhos ou dos sistemas existentes no ambiente e o estudo destas interferências é de extrema importância para evitar em sistemas de energia impactos de emissões em sistemas de medição de energia entre outros como abordado em [25].

Um equipamento é dito compatível eletromagneticamente quando ele não causa interferências em outros equipamentos, é imune as emissões de outros equipamentos e não causa interferência em si próprio. E um equipamento não compatível é o processo no qual a energia eletromagnética é acoplada entre dispositivos eletrônicos de forma radiada e/ou conduzida de maneira involuntária [26]. Como exemplos de EMI são possíveis citar sistemas de sons que sofrem uma interferência de sinal de celular GSM gerando um ruído bem conhecido e interferência em televisões gerando uma imagem de puro ruído (conhecido popularmente como chuva) ocasionados por raios ou ausência do sinal transmitido [26].

Para identificar se um dispositivo eletrônico possui EMC satisfatória é importante realizar o estudo que determina a capacidade de um dispositivo eletrônico de ser imune a emissões externas, conhecido por susceptibilidade eletromagnética (SEM - *Electromagnetic Susceptibility*) [26].

A Figura 2 ilustra uma estrutura básica da EMC/EMI.

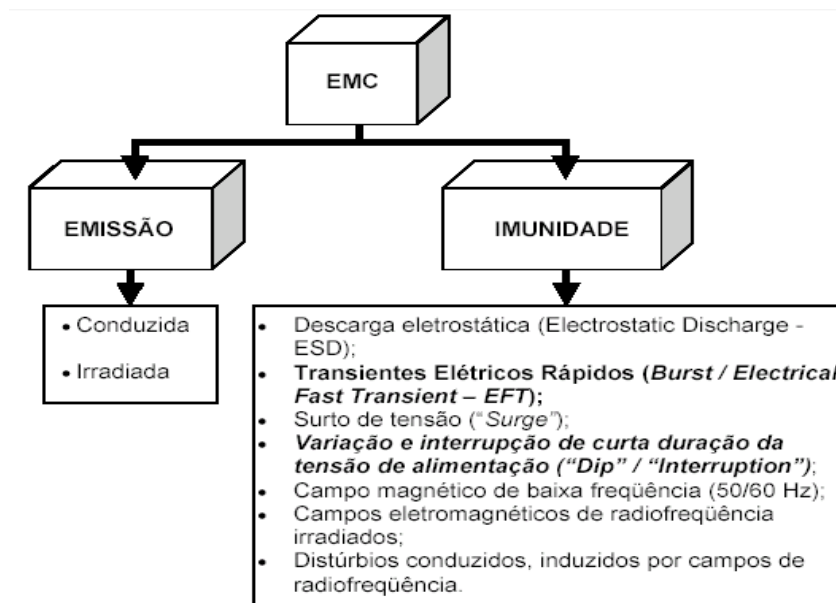


Figura 3 - Estrutura básica da EMI/EMC

## 2.4 Fontes de Emissões Eletromagnéticas

As fontes de emissões eletromagnéticas podem ser classificadas em naturais, artificiais intencionais e artificiais não-intencionais. Fontes naturais vão desde ruídos atmosféricos, resultantes de descargas elétricas, a ruídos cósmicos resultantes de explosões do sol. Dispositivos criados pelo homem, com função de emitir ondas eletromagnéticas, como transmissores AM/FM e rádio comunicação são exemplos de fontes artificiais intencionais; e dispositivos criados pelo homem, que não têm como objetivo principal a emissão de ondas eletromagnéticas, como motores elétricos e lâmpadas fluorescentes, são exemplos de fontes artificiais não-intencionais. [27]

Os principais fatores que contribuem para interferência eletromagnética são: Variações de tensão, variações de frequência, falha de aterramento, mal funcionamento de componentes eletrônicos, falha em trilhas de circuitos impressos, desacoplamentos indutivos e/ou capacitivos em filtros, entre outros.

A EMI irradiada se propaga a partir da fonte, através do espaço, para o corpo receptor. Um sinal conduzido viaja através de fios conectados entre a fonte e o receptor. O meio conduzido pode envolver qualquer cabo de alimentação, entrada de sinal e terminais de terra de proteção. Já a indução ocorre quando dois circuitos estão magneticamente acoplados.

A EMI por indução é mais difícil de ocorrer e o modo de acoplamento vai depender da frequência e do comprimento de onda, sendo que as baixas frequências se propagam muito facilmente por meios condutivos, mas não tão eficientemente pelo meio irradiado. Já as altas frequências se propagam com eficiência pelo ar e são bloqueadas pelas indutâncias do cabeamento. Este método de bloqueio é o comumente aplicado em sistemas industriais. As perturbações conduzidas normalmente estão na faixa de 10kHz a 30MHz e se classificam em:

- Modo-comum, onde a interferência acontece entre as linhas de sinal e o terra. O ruído é provocado pela resistência existente e comum ao sinal e ao retorno. Os sinais de radiofrequência são fontes comuns de ruído de modo-comum. O ruído em modo-comum é o maior problema em cabos devido a impedância comum entre o sinal e seu retorno.
- Modo-diferencial, onde a interferência acontece entre as linhas de sinal.

As perturbações induzidas normalmente estão acima de 30MHz e dependem das técnicas de aterramento, blindagem e mesmo da posição física em relação a fonte de indução.

## 2.5 Interferência Eletromagnética em Cabos

Existem três mecanismos básicos por onde a interferência pode ser acoplada e assim, afetar um circuito:

- 1- Campo elétrico,
- 2- Campo magnético e
- 3- Campo eletromagnético.

Em alguns casos, somente um desses mecanismos pode efetivamente existir, enquanto em outros casos, todos podem estar presentes. Outrossim, para se ter uma análise completa do problema, é preciso conhecer a fonte a partir da qual a interferência provém, assim como, a sensibilidade do equipamento perturbado (PAVIÉ & STIH, 2004).

Para circuitos de baixa impedância, as tensões transversais são da ordem de milivolts, enquanto que, em circuitos de alta impedância essas tensões podem ser consideravelmente maiores. A questão de se utilizar ou não cabos blindados e, neste último caso, como escolher a blindagem, depende da intensidade da fonte, do maior ou menor acoplamento desta com o circuito, da sensibilidade (relação sinal/ruído) e do modo de aterrar este circuito. [28].

Existem pesquisas explorando casos particulares de interferência eletromagnética de cabos, como exemplo tem-se pesquisa desta interferência em equipamentos hospitalares, onde analisou-se que a EMI de fontes como transmissores de televisão, rádios policiais e telefones celulares pode causar mau funcionamento de monitores médicos e outros dispositivos hospitalares. Para mitigar o risco de EMI nas instalações elétricas hospitalares, é necessário um bom gerenciamento de cabos [29]. Em sistemas subterrâneos, os campos eletromagnéticos induzidos das concessionárias vizinhas se cruzam causando interferência [30].

Nos sistemas alimentadores de motores elétricos, a EMI do sistema de acionamento do motor tem uma grande influência no desempenho. Para os sistemas de acionamento do motor, a interferência da corrente CM é uma importante causa de emissão conduzida [31].

## 2.6 Cabo de Par Trançado

Atualmente o cabo de par trançado é o tipo de cabo de rede mais usado. Ele se divide em dois tipos: sem blindagem, chamado de UDP (*Unshielded Twisted Pair*), e com blindagem, que por sua vez, é dividido em três categorias: FTP, STP e SSTP. Na Figura 4 pode ser observado o cabo par trançado UDP. [12]



Figura 4 - Cabo par trançado UDP

- Cabos FTP (*Foiled Twisted Pair*) a blindagem é mais simples, utiliza-se uma fina folha de aço ou de liga de alumínio envolvendo todos os pares, protegendo-os contra interferências externas, mas não contra a interferência entre os pares de fios do próprio cabo (*crosstalk*). Este tipo de cabo pode ser observado na Figura 5.





Figura 5 - Cabo par trançado FTP

- Cabos STP (*Shielded Twisted Pair*) a blindagem individual para cada par de fios, reduzindo o *crosstalk* e melhorando a tolerância do cabo com relação à distância. Este tipo de cabo pode ser observado na Figura 5.



Figura 6 - Cabo par trançado STP

- Cabos SSTP (*Screened Shielded Twisted Pair*), também denominados de SFTP (*Screened Foiled Twisted Pair*), que combinam a blindagem externa, envolvendo todos os pares, tornando os cabos ainda mais resistentes a interferências externas. Estes cabos são mais adequados a ambientes com fortes fontes de interferências. Este tipo de cabo pode ser observado na Figura 6.



Figura 7 - Cabo par trançado SSTP

O cabo de par trançado mais usado é o sem blindagem, pelo seu baixo custo em relação aos demais e sua aplicação é recomendada em locais em baixos níveis de ruído e sinais de alta potência.

Cada fio é recoberto por uma proteção, normalmente em PVC, que é um material isolante. Cada par é composto por um condutor positivo (normalmente de cor branca com laranja, branca com verde, branca com azul ou branca com marrom). [12]

O conector utilizado nas redes com cabos de par trançado é denominado RJ-45, eles são versões maiores dos conectores RJ-11 usados para telefonia. Um conector RJ-45 só pode ser ligado a uma tomada em uma posição específica e uma peça física mantém o conector fixo em sua posição de conexão. Assim, os conectores não podem ser conectados de forma incorreta e, uma vez inseridos, não se desconectam. [32]. A Figura 8 apresenta um conector RJ-45.



Figura 8 - Conector RJ-45

A princípio o cabo de par traçado foi projetado para voz, porém, com sua evolução se tornou adequado para telefones, *workstations*, terminais e sistemas computacionais. [28]

Três organizações padronizadoras criaram juntas padrões para os cabos de par trançado usados em redes de computadores, que suportam diferentes taxas de transferência. O *American National Standards* (ANSI), a *Telecommunications Industry Association* (TIA) e a *Electronic Industries Alliance* (EIA) e criaram uma lista com rigorosas especificações para cada categoria de cabeamento. A Tabela 1 apresenta as principais categorias. [32]

| Categoria | Descrição                                        | Taxa de dados<br>(em Mbits/s) |
|-----------|--------------------------------------------------|-------------------------------|
| CAT 1     | Par trançado não blindado usado para telefones   | < 0,1                         |
| CAT 2     | Par trançado não blindado usado para dados T1    | 2                             |
| CAT 3     | CAT 2 melhorado usado para redes de computadores | 10                            |
| CAT 4     | CAT 3 melhorado usado para redes Token Ring      | 20                            |

|        |                                                                                                                         |     |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| CAT 5  | Par trançado não blindado utilizado em redes locais                                                                     | 100 |
| CAT 5E | CAT 5 estendido para maior imunidade a ruídos                                                                           | 125 |
| CAT 6  | Par trançado não blindado testado para 200 Mbits/s                                                                      | 200 |
| CAT 7  | Par trançado blindado com lâmina metálica adicional envolvendo todo o cabo mais blindagem em torno de cada par trançado | 600 |

Tabela 1 - As categorias de cabeamento de par trançado e a descrição de cada uma delas. COMER, 2016)

O cabo par trançado categoria 6 é mais comumente utilizado, por ter baixo custo e fácil instalação. Todavia, o que geralmente determina a escolha de um cabo é o nível de interferência. [28].

O cabeamento *Unshielded Twisted Pair* (UTP) é o mais comum, pois, geralmente os aspectos de cancelamento de interferência do cabeamento de par trançado são adequados. Às vezes, no entanto, a interferência eletromagnética pode ser tão difundida em certos ambientes, que um nível adicional de blindagem é necessário. Quando isso ocorre o cabeamento de par trançado blindado (STP) é usado como uma alternativa [33].

Outros tipos de tecnologias, como cabos coaxiais e de fibra óptica, devem aderir a tolerâncias. Foi estabelecido que o cabeamento de par trançado é uma tecnologia comprovada que naturalmente elimina a interferência devido às suas características de design inerentes. Cabeamento de par trançado, especialmente a variedade não blindada, é talvez mais popular devido ao seu custo favorável. Extremamente rígidas para manter a integridade do sinal; um requisito dispendioso. O cabeamento de par trançado tende a ter mais "espaço de manobra" em seu design, reduzindo os custos consideravelmente. Isso explica, em parte, porque o cabeamento de par trançado está sendo usado cada vez mais em aplicações de consumo [33].

## 2.7 Protocolos de Transportes de Pacotes

### 2.7.1 Camada de Transporte

A camada de transporte está situada entre a camada de aplicação e a camada de rede na pilha de protocolos TCP/IP. Ela fornece serviços a camada de aplicação e recebe serviços da

camada de rede. A camada de transporte age como uma ligação entre um programa-cliente e um programa-servidor, como uma conexão de processo para processo. A camada de transporte é o coração da pilha de protocolos TCP/IP; ela é o meio lógico fim a fim para transferir dados de um ponto a outro na Internet [34].

Neste trabalho os protocolos utilizados foram o UDP (*User Datagram Protocol*) e o TCP (*Transmission Control Protocol*). O UDP é o mais simples dos dois protocolos. O UDP necessita de muitos serviços que podem ser fundamentais em um protocolo da camada de transporte, mas a sua simplicidade é muito atrativa para algumas aplicações. O TCP fornece um serviço orientado a conexão usando um diagrama de transição.

Uma importante referência para comparação entre os protocolos aplicados em redes 4G está apresentado em [35], destacando as métricas para os parâmetros: Taxa de transferência, número de perda de pacotes, atraso de ponta a ponta e instabilidade média. Alguns gráficos comparativos estão apresentados nesta referência destacando o protocolo DCCP tem o melhor desempenho em comparação com UDP, TCP e SCTP devido ao pequeno tempo de atraso em comparação com outros protocolos. Os protocolos TCP e SCTP precisam de mais tempo desde o início para o estabelecimento da conexão.

## Métricas de avaliação

As métricas de avaliação de desempenho utilizadas são:

Taxa de transferência (*Throughput*): é definida como a quantidade de entrega efetiva de pacotes através de um canal de comunicação [35].

$$Throughput = \frac{Number\ of\ Received\ Packets}{Last\ Packet\ Send - First\ Packet\ Send} \quad (1)$$

Número de perda de pacotes (*Number of Packet loss*): é definida como a diferença do número total de pacotes enviados pelo remetente e o número total de pacotes recebidos no receptor [35].

$$PacketLose = \sum PacketsSend - \sum PacketsReceived \quad (2)$$

Atraso de Ponta a Ponta (*End-to-End Delay*): É definido como o intervalo que os pacotes experimentam quando viajam através de várias redes de um nó para outro [35].

$$EndToEndDelay = T_r - T_s \quad (3)$$

$T_s$  está transmitindo o tempo do pacote específico, enquanto  $T_r$  é o tempo de recepção do pacote.

Jitter médio (*Average Jitter*): é definido como a diferença de latência de pacote para pacote [35].

$$Average Jitter = \frac{Delay_j - Delay_i}{N} \quad (4)$$

O Atraso J é o atraso atual do pacote, o Atraso I é o atraso do pacote anterior e N representa o número total de pacotes recebidos durante o tempo de simulação.

No estudo do [35], foi realizado uma simulação do desempenho dos protocolos TCP, SCTP, DCCP e UDP pela rede 4G. Os dados obtidos entre os diferentes protocolos comparados, mostra o número de nós impactados por eles em relação às diferentes métricas de desempenho. O cenário aqui é suposto que todos os 10 nós receberão os arquivos de vídeo MPEG-4 em um mesmo intervalo de tempo para o nó da estação base. A Figura 9 mostra o resultado dessa comparação.

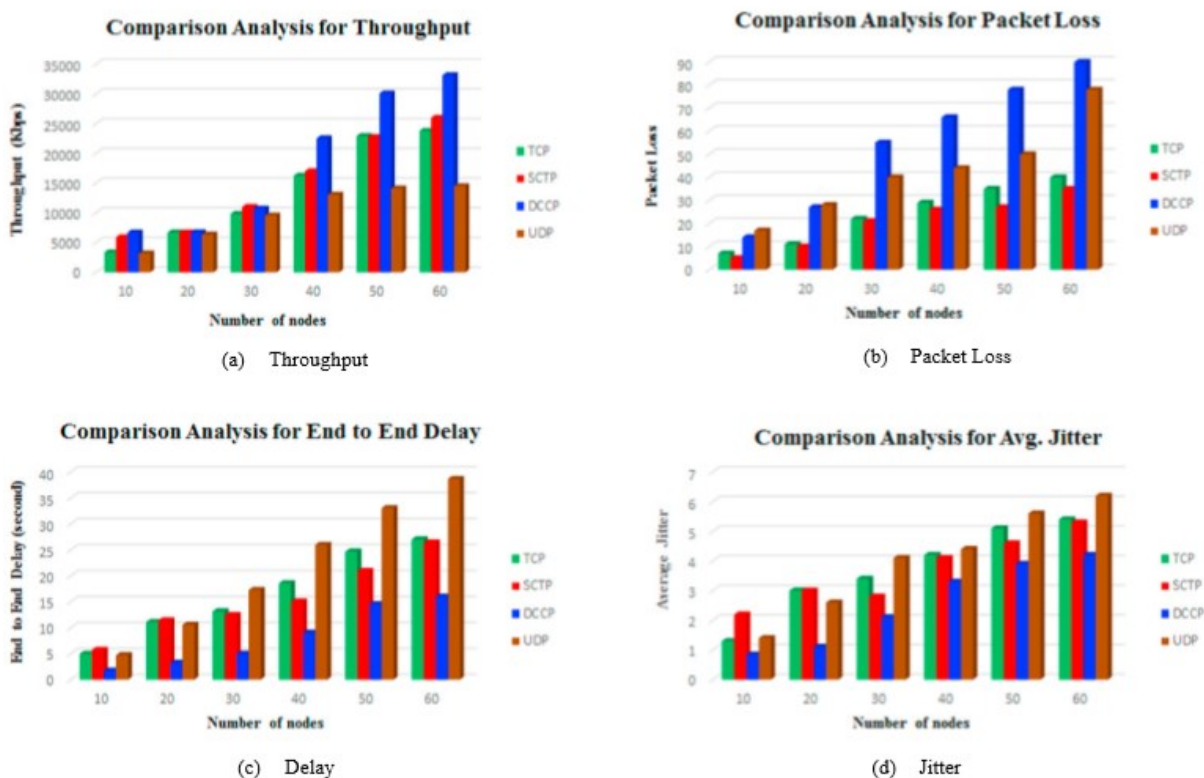


Figura 9 - Os resultados da comparação entre os protocolos TCP / SCTP / UDP / DCCP [35].

De acordo com a análise dos resultados do [35], a Figura 9 (a) prova que o protocolo DCCP tem um valor de transferência razoável no ambiente da rede LTE, com 10 nós de rede. Além disso, a continuidade do protocolo DCCP em seu bom rendimento no ambiente da rede LTE é mostrada quando o número de nós é aumentado de 10 para 20, 30, 40 e 60 nós. O resultado confirma a estabilidade deste protocolo, mesmo com um número crescente de transmissão de arquivos de vídeo, enquanto o aumento em um número de nós pode alterar o efeito do protocolo. Além disso, à medida que os nós são aumentados, a taxa de transferência da rede completa melhora. O crescimento consistente do gráfico mostrou que a rede é capaz de lidar com essa densidade de nós. Para obter o melhor desempenho, não há gargalo até esse limite de números de nós. Conforme o número de nós aumenta, o rendimento aumenta demais. O protocolo DCCP tem melhor rendimento do que UDP, TCP e SCTP, devido aos dois esquemas usados nele. Esses esquemas são o controle de congestionamento e controle de fluxo. No caso de pacotes com sucesso incompleto em transmitir e receber, a perda de pacotes ocorre no final e o fluxo de vídeo se torna intermitente. Isso significa que a velocidade de download e upload pode diminuir muito e a pausa na transmissão de vídeo pode acontecer. Além disso, a voz ou o vídeo de baixa qualidade podem ser alcançados e a perda de pacotes

ocorre no ambiente de rede sem fio mais do que no ambiente de rede, porque compartilha o meio entre todos os nós da rede. O resultado apresentado na Figura 1 (b) onde o protocolo TCP obteve o melhor resultado e o protocolo DCCP foi considerado o pior. Esse resultado é para 10 nós, que transmitem o vídeo do arquivo para o servidor ao mesmo tempo. Não existe tal diferença se o número de nós for aumentado de 10 para 20, 30, 40 50 e 60, respectivamente. Também é mostrado que o número de perda de pacotes é aumentado quando os nós também aumentam. Isso aconteceu porque a estação base se tornou o gargalo que foi afetado pela densidade de nós na topologia da rede, já que todos os nós enviaram pacotes ao mesmo tempo para apenas uma estação base.

Como mostrado na Fig. 1 (c), o protocolo DCCP tem o melhor desempenho em comparação com UDP, TCP e SCTP devido ao pequeno tempo de atraso em comparação com outros protocolos. Os protocolos TCP e SCTP precisam de mais tempo desde o início para o estabelecimento da conexão. Além disso, esse estabelecimento de conexão pode afetar o número de nós. Porque quando o número de nós é aumentado, o tempo de atraso também será aumentado. O tempo médio de atraso para UDP, TCP, SCTP e DCCP em todos os quatro cenários mostra um atraso consistentemente maior devido à conexão com menor fluxo de dados pela rede. O protocolo TCP experimenta o maior atraso devido ao esquema de controle de congestionamento do TCP. O recurso de confiabilidade do TCP usa o tempo, portanto, o custo da falta de confiabilidade no UDP e no DCCP é medido em relação ao tempo. Além disso, o DCCP supera a conexão convencional e os protocolos orientados à conexão em caso de atraso. A análise comparativa dos protocolos TCP, SCTP, DCCP e UDP para cenário de 10 a 50 nós mostra que o protocolo DCCP apresenta o melhor desempenho em termos de atraso de rede. Na Fig. 1 (d), o jitter foi calculado variando o número de nós. Como o jitter é diretamente proporcional ao atraso na avaliação do UDP, o jitter aumenta com o aumento do número de nós da rede. Enquanto o DCCP mostra menos valores de jitter que refletem os melhores resultados, até certo ponto, em comparação com os outros protocolos. Além disso, pode-se ver que o jitter TCP e SCTP é menor em comparação com o do UDP. A razão por trás disso é o TCP e SCTP verificar a condição da rede. Em caso de congestionamento de rede, sua taxa de envio de pacotes é bastante minimizada e mantida monitorada até a condição da rede, porque é melhor que o jitter seja comparativamente maior que o DCCP.

### 2.7.1 Protocolo TCP

O TCP oferece um serviço de fluxo de *bytes* orientado a conexão e confiável. O TCP exige que dois sistemas finais primeiro criem uma conexão lógica entre eles por meio da troca de alguns pacotes de estabelecimento de conexão. Essa fase, geralmente denominada *handshaking* (que pode ser entendido como um aperto de mãos), estabelece alguns parâmetros entre os dois sistemas finais, incluindo o tamanho dos pacotes de dados a serem trocados, o tamanho dos *buffers* para armazenar os blocos de dados até a chegada da mensagem completa, e assim por diante.

Após o processo de *handshaking*, as duas pontas podem enviar blocos de dados em ambas as direções na forma de segmentos. A continuidade dos *bytes* pode ser verificada pela numeração dos *bytes* trocados. Por exemplo, se alguns bytes forem perdidos ou danificados, o receptor pode solicitar o reenvio, o que faz com que o TCP seja um protocolo confiável. O TCP também pode fornecer controle de fluxo e controle de congestionamento. Um problema com o protocolo TCP é que ele não é orientado a mensagens, ou seja, não limita as fronteiras das mensagens trocadas [34].

### 2.7.1 Protocolo SCTP

O SCTP fornece um serviço que é uma combinação dos dois protocolos. Assim como no TCP, o serviço é orientado à conexão é confiável, mas não é orientado a fluxos de bytes. É um protocolo orientado a mensagens como o UDP. Além disso, o SCTP pode fornecer serviços de múltiplos fluxos por meio de múltiplas conexões da camada de rede.

Normalmente, o SCTP é adequado para qualquer aplicação que requer confiabilidade e, ao mesmo tempo, precisa manter uma conexão mesmo se houver uma falha em uma conexão da camada de rede [34].

### 2.7.2 Protocolo DCCP

O DCCP é um protocolo da camada de transporte, orientado a conexão, que não garante nem a ordenação nem a entrega dos dados. Dentre os aplicativos que podem usar o DCCP estão aqueles que priorizam o desempenho de entrega de pacotes em vez de confiabilidade. Esses aplicativos se beneficiam da semântica de envio baseado em fluxo do TCP, mas não



precisam de uma entrega ordenada e confiável. Particularmente, os aplicativos de multimídia em tempo real são indicados a usar o DCCP. O DCCP é uma alternativa ao UDP para entrega eficiente de conteúdos multimídia, porque pode cooperar de forma mais justa com outros protocolos de transporte [36].

### 2.7.3 Protocolo UDP

O UDP oferece um serviço de datagrama não orientado a conexão e não confiável. Serviço não orientado a conexão significa que não existe qualquer conexão lógica entre os dois sistemas finais trocando mensagens. Cada mensagem é uma entidade independente encapsulada em um pacote denominado datagrama. O UDP não enxerga qualquer relação (ligação) entre os datagramas consecutivos vindos de uma mesma fonte e indo para o mesmo destino. [34]

O UDP não é um protocolo confiável. Ainda que ele possa examinar se os dados não foram corrompidos ou perdidos. Para algumas aplicações, o UDP tem uma vantagem: ele é orientado a mensagem. Ele limita a fronteira das mensagens trocadas.

Uma aplicação pode ser preparada para utilizar UDP se ela enviar pequenas mensagens e se a simplicidade/velocidade forem a prioridade para a aplicação e não a confiabilidade. Podendo citar como exemplo, algumas aplicações de gerenciamento e multimídia se encaixam nessa categoria [34].

Neste trabalho, apenas os protocolos TCP e UDP foram considerados, por serem ainda as soluções de transporte mais comuns.

### 2.7.4 Controle de Erros

Na internet, como a camada de rede subjacente (IP) não é confiável, é preciso que se torne confiável a camada de transporte, caso a aplicação o exija. Essa confiabilidade pode ser obtida por meio da adição de serviços de controle de erros na camada de transporte. O controle de erros na camada de transporte é responsável por:

- Identificar e descartar pacotes corrompidos;
- Rastrear pacotes perdidos e descartados, e reenviá-los;

- Reconhecer pacotes em duplicidade e descartá-los;
- Manter pacotes fora da ordem do *buffer* até que os pacotes faltantes cheguem.

O controle de erros envolve apenas as camadas de transporte emissora e receptora, ao contrário do de fluxo. Considerando-se que as mensagens trocadas entre as camadas de aplicação e de transporte não apresentam erros. A Figura 9 mostra o controle de erros entre as camadas de transporte emissora e receptora. Da mesma forma que acontece no caso do controle de fluxo, a camada de transporte receptora comanda o controle de erros, na maior parte do tempo, informando a camada de transporte emissora sobre problemas. [34]

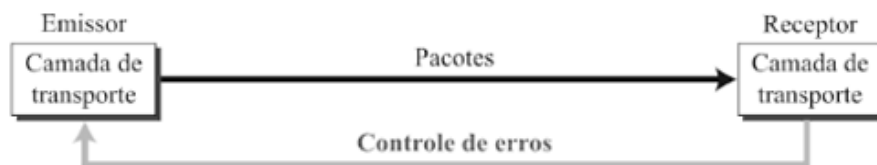


Figura 10 - Controle de Erros na Camada de Transporte [34]

## Capítulo 3 - A normalização

Com o objetivo de regulamentar equipamentos eletroeletrônicos quanto à compatibilidade eletromagnética, existem padrões internacionais que são adotados no Brasil visando estabelecer limites de perturbações eletromagnéticas emitidas, além de padrões de imunidade aos quais equipamentos sensíveis a interferências devem atender para sua correta operação em ambientes ruidosos. Neste capítulo são introduzidas algumas dessas principais regulamentações de compatibilidade eletromagnética.

### 3.1 A Norma CISPR 22

A norma ABNT NBR IEC/CISPR 22 - Características de distúrbios de rádio frequência para equipamentos de tecnologia da informação; medições em frequências onde não é especificado qualquer limite [5], ela se aplica aos equipamentos de tecnologia de informação (ETI).

Nesta norma estão indicados os procedimentos para a medição dos níveis de sinais espúrios gerados pelo ETI e abrange a faixa de frequência de 9 kHz até 400 GHz, tanto para equipamento classe A como para equipamento classe B, impondo limites para emissões conduzidas na faixa de 150 kHz – 30 MHz e emissões radiadas na faixa de 30 MHz – 6 GHz [5].

Os equipamentos de Classe A são todos os outros equipamentos de TI que satisfazem os limites estabelecidos para tal classe, mas não atendem aos limites da classe B (mais rigorosos). Sua operação em ambientes domésticos pode provocar rádio interferências que podem exigir medidas de mitigação a serem adotadas pelo usuário. E os Classe B são destinados primariamente para uso em ambientes domésticos, podendo incluir equipamentos que não possuem local fixo de uso, como equipamentos portáteis alimentados por baterias, equipamentos alimentados através do terminal de rede de telecomunicação, computadores pessoais e equipamentos auxiliares [5].

### 3.2 A Norma CISPR 15

A norma ABNT NBR IEC/CISPR 15 - Características de distúrbios de rádio frequência para equipamentos de iluminação e similares. [4], ela trata dos limites e métodos de medição das rádios perturbações características dos equipamentos elétricos de iluminação (incluindo lâmpadas) e similares.

Esta norma se aplica para emissões radiadas e conduzidas de distúrbios de radiofrequência provenientes desses equipamentos. A norma abrange a faixa de frequência que vai de 9KHz a 400GHz. [4] e uma lista completa de acessórios necessários a aplicação de ensaios conforme a norma estão apresentados [37] e entre eles destacam-se: antena Loop, Lâmpadas Artificiais (versão linear), Lâmpadas Artificiais (tipo U), Lâmpadas Artificiais (versão circular), Lâmpadas artificiais com tampa simples, Transformador, Dispositivo de teste.

Os sinais da antena loop, LISN são analisados pelo receptor EMI CISPR16-1-1.

### 3.3 A Norma CISPR 16

A norma ABNT NBR IEC/CISPR 16 - Especificação para aparelhos e métodos de medição e medição de perturbações de rádio - Parte 1-1: Aparelhos de medição de perturbações e imunidade de rádio - Aparelhos de medição [38], ela trata de especificações para instrumentação de medição, métodos de medição, incertezas, estatísticas e modelagem de limites, bem como, informações sobre radio perturbações em geral.

Esta norma especifica as características e desempenho de equipamentos para a medição de distúrbios de rádio na faixa de frequência de 9 KHz a 18 GHz. Além disso, são fornecidos requisitos para equipamentos especializados para medições de perturbação descontínuas [38]

### 3.4 A Norma 61000-4-6

A norma ABNT NBR IEC 61000-4-6:2011 – Compatibilidade eletromagnética (EMC) [19], nela são tratadas as técnicas de medição e ensaio – Imunidade a perturbação conduzida, induzida por campos de radiofrequência.

Esta parte específica da norma se aplica aos requisitos de imunidade conduzida de equipamento eletroeletrônico a perturbações eletromagnéticas provenientes de transmissores intencionais de radiofrequência na faixa de 9 kHz a 80 MHz. Exceto equipamentos que não

tenha no mínimo um cabo condutor (como de alimentação de energia, linha de sinal ou conexão de terra), através do qual campos perturbadores possam ser captados pelo medidor [19].

## 3.5 Padrões Internet

Um padrão Internet é uma especificação testada, útil e aceita por aqueles que trabalham com a Internet. É um conjunto de regras formais que devem ser seguidas. Existe um procedimento rigoroso para que uma especificação atinja o *status* de padrão Internet [34]. A especificação começa como um internet *draft* (um esboço do padrão). Um internet *draft* é um documento de trabalho (um trabalho em andamento) sem qualquer *status* oficial e com uma vida útil de seis meses. As autoridades da internet recomendam, que esse esboço pode ser publicado como um pedido de comentário (*RFC – Request for Comment*) [34]. Cada RFC é editado, é atribuído a ele um número e é disponibilizado a todos os interessados. Os RFCs passam por níveis de maturidade e são classificados de acordo com seu nível de exigência. Um RFC, durante seu tempo de vida, é classificado em um de seis níveis de maturidade: proposta de padrão, esboço de padrão, padrão internet, histórico, experimental e informativo. E são classificados em cinco níveis de exigência: exigido, recomendado, opcional, uso limitado, não recomendado [34].

### 3.5.1 Ethernet (IEEE 802.3)

*Ethernet* é um nome dado a uma tecnologia LAN de comutação de pacotes criada pelo *Xerox PARC* no início da década de 1970. Em 1978, a *Xerox Corporation*, a *Intel Corporation* e a *Digital Equipment Corporation* padronizaram a *Ethernet*. Nos anos 80 a Ethernet transmitia até 10 Mbits/s através de cabo coaxial grosso a uma distância de até 2 quilômetros. Nos anos 90 precisamente em 1995, o IEEE anunciou um padrão para 100 Mbits/s Ethernet (cabos UTP CAT 5), em 1998 e 1999, os padrões para Ethernet chegaram na faixa de Gbits/s (Gbits/s, 1 bilhão de bits por segundo) (cabos UTP CAT6) [39]. Sua popularidade deve-se aos seguintes fatores: simplicidade e facilidade de manutenção, capacidade de introdução de novas tecnologias, confiabilidade e instalação e atualização

econômicas [39]. As últimas versões da Ethernet são conhecidas Ethernet (10Mbps/s), *Fast Ethernet* (100Mbps/s) e *Gigabit Ethernet* (*GigE* - 1Gbits/s e *10GigE* - 10 Gbits/s). O IEEE criou uma versão compatível do padrão utilizando o número 802.3 como padrão. A Ethernet tornou-se a tecnologia de LAN mais popular: atualmente, ela aparece em todas as redes corporativas e pessoais praticamente, e o formato de pacote Ethernet é usado algumas vezes através de redes de longa distância.

A próxima geração de tecnologias opera a 40 e 100 gigabits por segundo. Uma rede Ethernet consiste em um comutador Ethernet ao qual múltiplos computadores são ligados. Um comutador pequeno pode conectar centenas de computadores. Conexões entre um computador e um comutador consistem de fios de cobre para baixas velocidades ou fibras ópticas para velocidades maiores [40].

Uma Ethernet Gigabit transfere dados a 1 gigabit por segundo (1000 Mbps/s). Com isso, o nome formal 1000Base-T é aplicado para versões que usam par de fios de cobre trançados [40].

### 3.5.2 Wi-Fi (IEEE 802.11)

Uma série de padrões para redes wireless que estão intimamente ligadas a Ethernet foram desenvolvidos pela IEEE.

O mais conhecido tem número-padrão IEEE 802.11, seguido por um sufixo (por exemplo, 802.11a, 802.11g ou 802.11n), a cada extensão da 802.11 usa-se um sufixo, isto porque, estão em constante desenvolvimento para adequação das mais recentes demandas tecnológicas, melhorando assim, o acesso às redes sem fio. O conjunto de normas pode interoperar, o que significa que um dispositivo sem fio pode incluir *hardware* para vários padrões, inclusive o que dá a velocidade máxima. Um consórcio de fornecedores de equipamentos de rede adotou o termo marketing de Wi-Fi para abranger equipamento que utiliza os padrões wireless IEEE, e existem muitos dispositivos Wi-Fi comerciais disponíveis no mercado e comercializado em todos os setores da economia [40].

Os padrões Wi-Fi podem ser usados de duas maneiras: como uma tecnologia de acesso em que uma única estação-base (chamada de ponto de acesso) se conecta a vários clientes (por exemplo, os usuários com *laptop*), ou em uma configuração ponto a ponto usada para conectar só dois rádios sem fio.

Este padrão é um dos preferidos nos sistemas industriais sendo amplamente aplicado em sistemas de controle e monitoramento. Uma importante avaliação e classificação deste padrão está apresentada em [41] e sua conexão típica em uma aplicação industrial está representada na Figura 11.

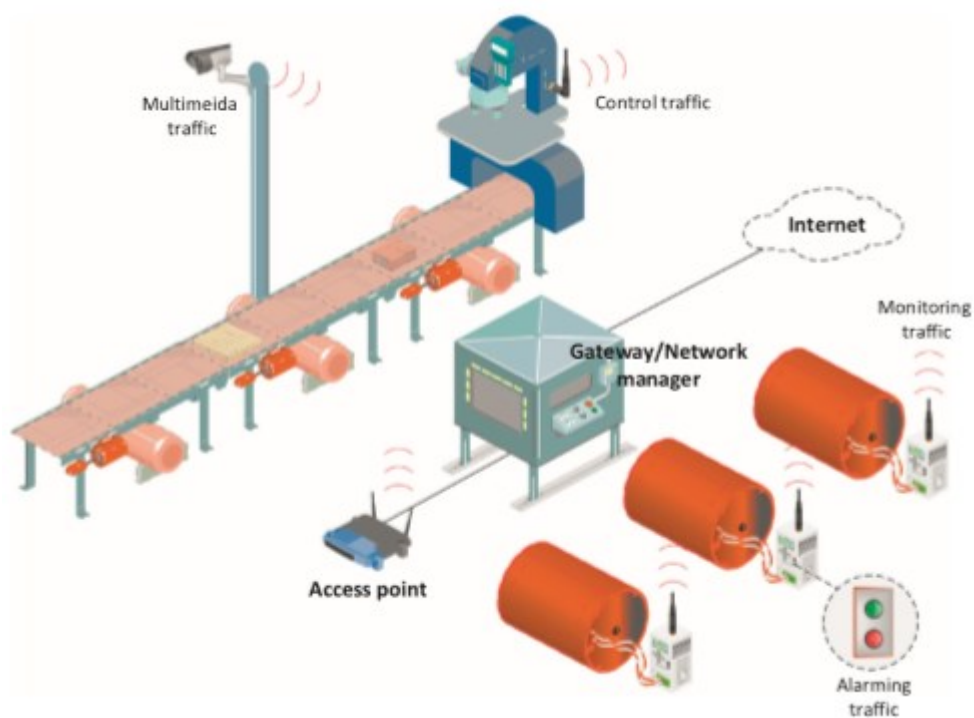


Figura 11 - Um exemplo de um cenário típico com diferentes aplicativos sem fio industriais. [41]

## Capítulo 4 - Metodologia

Este capítulo busca apresentar a metodologia utilizada nos ensaios. Para tanto são apresentados os equipamentos, características da sala onde foram realizados os ensaios, as lâmpadas, esquema de montagem e as condições de ensaio.

### 4.1- Informações Gerais

Os ensaios foram realizados nas dependências do LABLUX (Laboratório de Luminotécnica da UFF), que possui acreditação do INMETRO para a realização de ensaios de conformidade em produtos de luminotécnica. O laboratório possui uma sala blindada, com dimensões de 3,4m x 5,3m e 3,1m de altura, projetada para atenuação de radiofrequências até 30MHz, para realização de ensaios de EMC. Essa sala foi a escolhida para realização dos ensaios pois é acreditada junta ao Inmetro para ensaios em produtos na área de Luminotécnica, para certificação de eficiência energética.

Foram realizados 2 (dois) ensaios com cenários diferentes. No primeiro ensaio foi avaliado o impacto de EMI das tecnologias de iluminação em redes sem fio e no segundo, o impacto de EMI em Redes Ethernet. Os ensaios foram realizados de acordo com as exigências da ABNT – NBR IEC/CISPR-15 [4], onde determina-se que o desvio máximo da tensão de alimentação dos equipamentos sob ensaio deve ser de  $\pm 2\%$  do seu valor nominal, a frequência de operação deve ser igual à nominal e a temperatura ambiente do local onde o ensaio é realizado deve estar dentro da faixa de 15°C a 25°C.

A Figura 12 apresenta a foto da sala blindada onde os ensaios 1 e 2 foram realizados.





Figura 12 - Sala blindada

Com o objetivo de verificar o impacto das principais tecnologias de lâmpadas na faixa de frequência de transmissão de dados wi-fi e ethernet, foram selecionadas como amostras sete diferentes tecnologias de iluminação, escolhidas de forma a obter representação dos tipos de lâmpadas mais usuais no mercado, conforme é apresentado na Tabela 1.

| Lâmpadas Ensaaiadas |                       |              |
|---------------------|-----------------------|--------------|
| Amostra             | Tecnologia            | Potência (W) |
| 1                   | Incandescente         | 60           |
| 2                   | LED (3000K)           | 6            |
| 3                   | LED                   | 9            |
| 4                   | LED (6500K)           | 6            |
| 5                   | LED                   | 12           |
| 6                   | Fluorescente compacta | 15           |
| 7                   | Fluorescente compacta | 22           |
| 8                   | Fluorescente compacta | 42           |
| 9                   | Halógena              | 50           |
| 10                  | Vapor de sódio        | 150          |
| 11                  | Vapor de sódio        | 400          |
| 12                  | Fluorescente tubular  | 40           |
| 13                  | LED tubular           | 18           |

Tabela 2 - Lâmpadas usadas nos ensaios.

## 4.1 Ensaios

Esse capítulo abordará todos os ensaios, realizados no laboratório, na qual as lâmpadas foram submetidas a fim de verificar de maneira clara as possíveis interferências que essas tecnologias podem causar nas redes de comunicação. Para essa análise foram realizados 2 ensaios e um total de 5 testes e os resultados serão apresentados para ambos os ensaios.

### 4.1.1 Ensaio 1 - Avaliação do impacto de EMI em rede Wi-fi

A fim de analisar o espectro de frequência de 2,4GHz, foi utilizado no teste 1 o analisador de espectro chamado Wi-Spy 2.4x. Os dados obtidos foram coletados nos *softwares* Chanalyzer 3.2, onde é realizada a identificação dos canais e das frequências onde os dispositivos Wi-Fi interferem.

A Figura 13 apresenta o modelo do analisador de espectro utilizado no ensaio.



Figura 13 - Analisador de Espectro Wi-Spy 2.4x

A Figura 14 exemplifica o esquema de montagem da bancada utilizada no Teste 1, com duas antenas, uma lâmpada, um computador e o analisador de espectro (Wi-Spy).



Figura 14 - – Esquema de montagem da bancada utilizada no Teste 2, com duas antenas, uma lâmpada, um computador e o analisador de espectro (Wi-Spy).

Os equipamentos utilizados durante os testes 2 e 3 foram: roteadores modelo Bullet M2 do fabricante Ubiquiti, com 2,4 GHz de frequência e capacidade de transmissão de 100 Mbits/s e duas antenas disponíveis na escola de engenharia da UFF. Estes equipamentos foram gentilmente cedidos pelo Laboratório LABLUX para a execução desta parte da dissertação.

Além disso, no teste 2, foi utilizada a ferramenta de *software* Iperf para medir a taxa de transmissão no meio utilizado para compartilhamento dos dados de uma antena para a outra. Os resultados adquiridos pelo Iperf demonstram a capacidade que determinado meio possui de transmissão de dados.

#### 4.1.1.1 - Teste 1

O teste 1 teve como objetivo verificar o possível impacto da interferência eletromagnética (EMI) provocada por lâmpadas em rede wi-fi 2,4GHz e obter as intensidades dos sinais de rede presentes na sala de teste, bem como reconhecimento dos mesmos.

Os testes foram realizados numa sala blindada para atenuação dos sinais externos. Durante o ensaio foram garantidas as condições ambientais exigidas na ABNT – NBR IEC/CISPR-15, tais como manter a temperatura ambiente dentro da faixa de 15 °C a 25 °C. e caso a temperatura ultrapasse esses limites o responsável pelo ensaio deve aguardar a reestabilização

da mesma para iniciar as medições. Os equipamentos também devem ser ligados pelo menos cinco minutos antes de se iniciar as medições para estabilização dos mesmos.

O procedimento ocorreu colocando uma amostra por vez sobre a mesa de testes, alimentada com tensão nominal obtendo condições nominais normais, e coletando-se com o analisador, por 2 minutos, o espectro irradiado pela amostra.

Antes e após os ensaios foram realizadas medições do espectro sem a presença das lâmpadas, a fim de verificar o ruído ambiente. A Figura 15 apresenta o resultado obtido para medição do ruído ambiente.

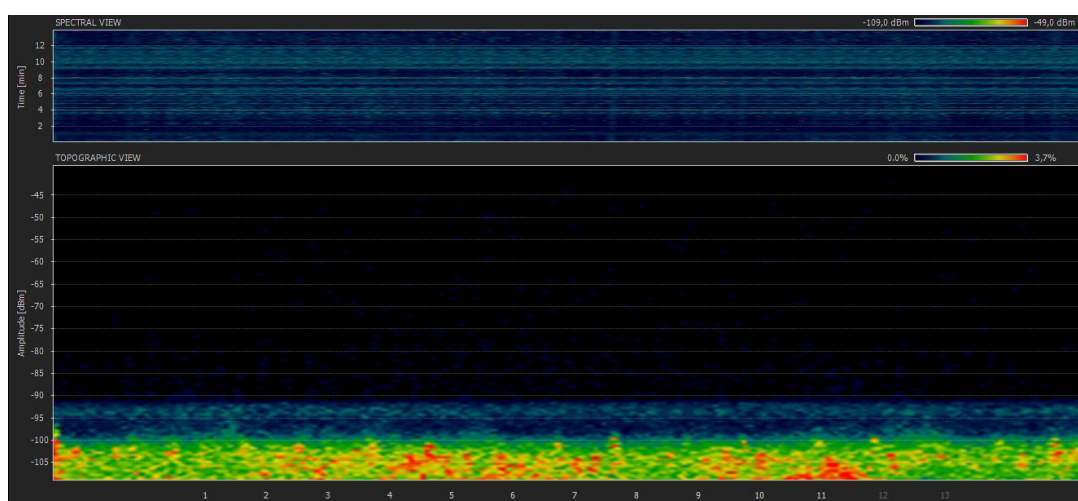


Figura 15 - Ruído ambiente da sala blindada.

Na Figura 15 pode-se observar que dentro da sala blindada foi atenuado os sinais externos não tendo influência significativa no espectro. Isto pode ser percebido observando-se que as cores que representam a altura da amplitude com os vermelhos indicando sinais mais altos e os azuis mais escuros com níveis de potência mais baixos não estão intensos. O Chanalyzer desenha uma forma de rede de "curva" (assim como sua contrapartida de assinatura de espectro) para indicar que sua placa sem fio detectou uma rede 802.11 ou uma rede usando taxas de dados herdadas [42].

#### 4.1.1.2 - Teste 2

O teste 2 teve como objetivo validar as medições realizadas no teste 1. Nele, a Taxa de Transmissão de dados entre duas antenas, com roteadores modelo Bullet M2, foi medida

colocando-se entre as antenas as lâmpadas indicadas na Tabela 2. As medições foram feitas utilizando o canal 6 com potência 10dBm nos protocolos de entrega de pacotes de dados TCP e UDP. A fim de analisar os dados capturados pelo software Chanalyzer, foi estipulado experimentalmente o tempo de medição dos ruídos gerados por cada amostra de lâmpada. Cada medição ocorreu num período de tempo de 2 minutos, e dentro desse intervalo manteve-se a sala blindada fechada, para que não houvesse nenhuma interferência externa. Essa configuração é válida para todos os ensaios.

A Figura 16, apresenta o modelo do roteador utilizado no ensaio.



Figura 16 - Roteador Bullet M2

A Figura 17 apresenta uma das antenas utilizadas e um dos modelos de lâmpadas disposta na bancada onde ficaram para teste.



Figura 17 – (a). Apresenta a bancada onde as lâmpadas em teste ficaram dispostas. (b). Apresenta uma das antenas do sistema de transmissão de dados juntamente com um roteador modelo Bullet M2.

Antes e após a medição da interferência de cada lâmpada na Taxa de Transmissão de dados, foram capturadas medições do ruído ambiente da sala blindada. A Figura 18 e a Figura

19 apresentam os resultados de uma das medições de ruído ambiente encontrada para os protocolos TCP e UDP, respectivamente.

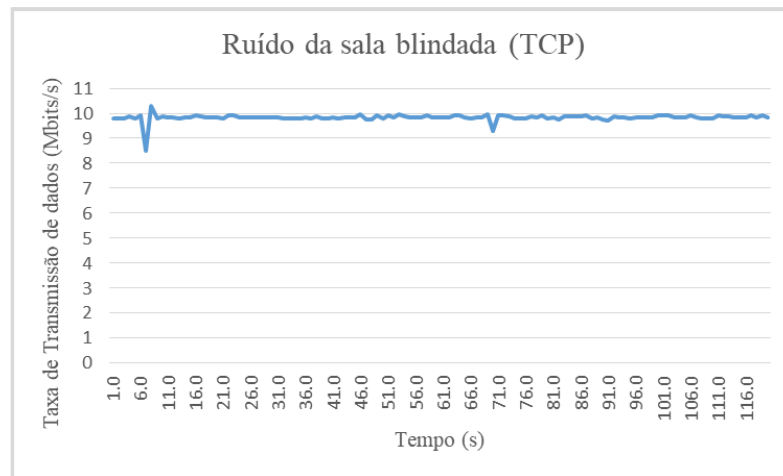


Figura 18 - Gráfico do ruído medido na sala blindada com o protocolo de comunicação TCP.

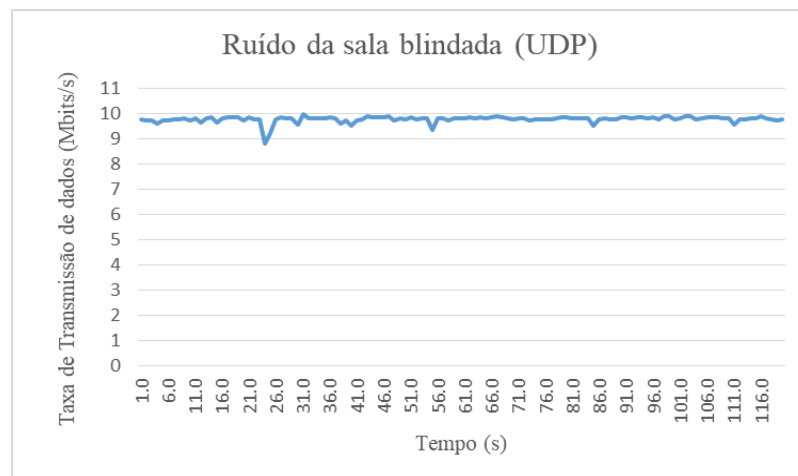


Figura 19 - Gráfico do ruído medido na sala blindada com o protocolo de comunicação UDP.

Na Figura 18 e na Figura 19 observou-se que não ocorreram variações nos sinais que pudessem reduzir as taxas de transmissão.

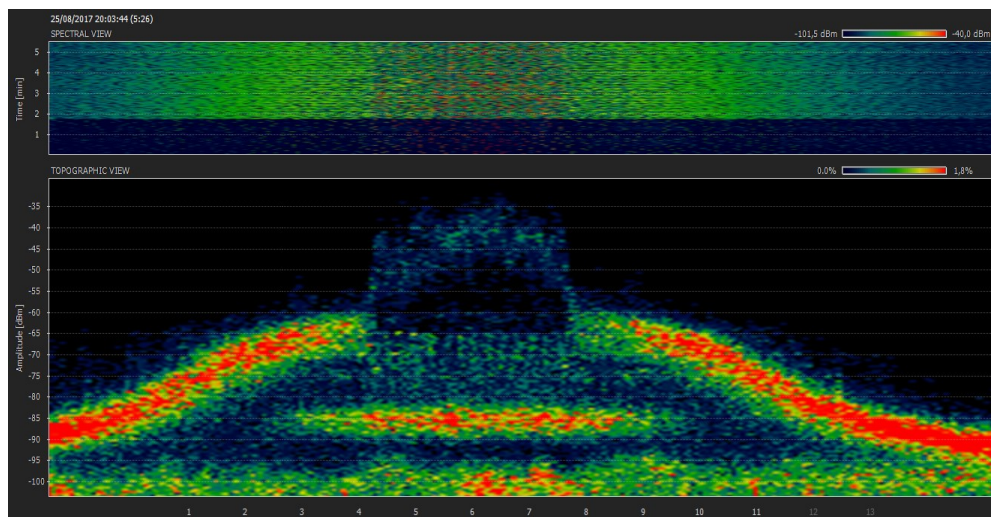


Figura 20 – Gráfico da rede Wi-Fi durante a transferência de dados – Canal 6 – 10Mbps/s.

Após o término das medições dos treze modelos de lâmpadas, montou-se um cenário com todos os modelos de lâmpadas sobre a mesa para um novo teste. Sendo assim, o teste 2 foi constituído por 29 medições em cada protocolo, sendo 13 referente as lâmpadas, 15 vinculadas aos ruídos ambientes e 1 referente a medição com todas as lâmpadas juntas.

#### 4.1.1.3 - Teste 3

O local de ensaio do último teste, diferentemente dos outros, não possuía blindagem contra ruídos eletromagnéticos. Esse ensaio foi realizado na câmara de sazramento que possui temperatura de  $25 \pm 10^{\circ}\text{C}$  controlada. A Figura 21 apresenta uma foto da sala onde os ensaios foram realizados.

As medições foram realizadas utilizando o canal 1, 6 e 11 e potência 0 e 10dBm. Para todos os ensaios, foi utilizado os protocolos de entrega TCP e UDP.





Figura 21 - Câmara de sazramento.

Antes e após os ensaios, foram medidos os ruídos presentes na sala, nas Figuras 16 a 18 são apresentados os resultados encontrados.

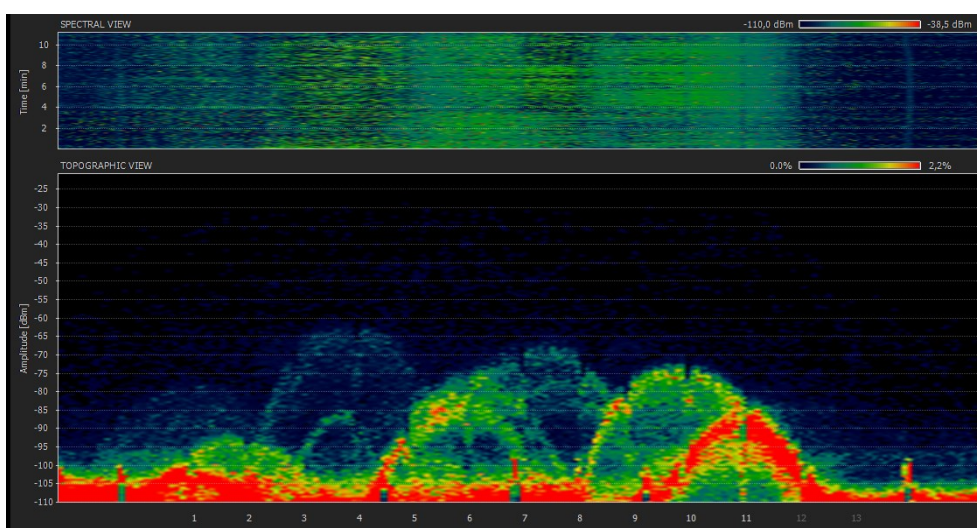


Figura 22 - Ruído medido na câmara de sazramento com as lâmpadas desligadas.

A Figura 22 demonstra que fora da sala blindada chegam vários sinais externos, observa-se que a cor vermelha que representa a altura da amplitude indicando sinais mais altos e os azuis mais escuros com níveis de potência mais baixos estão intensos, além da rede de curva que pode ser sinais de 2,4GHz ou equipamentos, alterando significativamente o espectro.



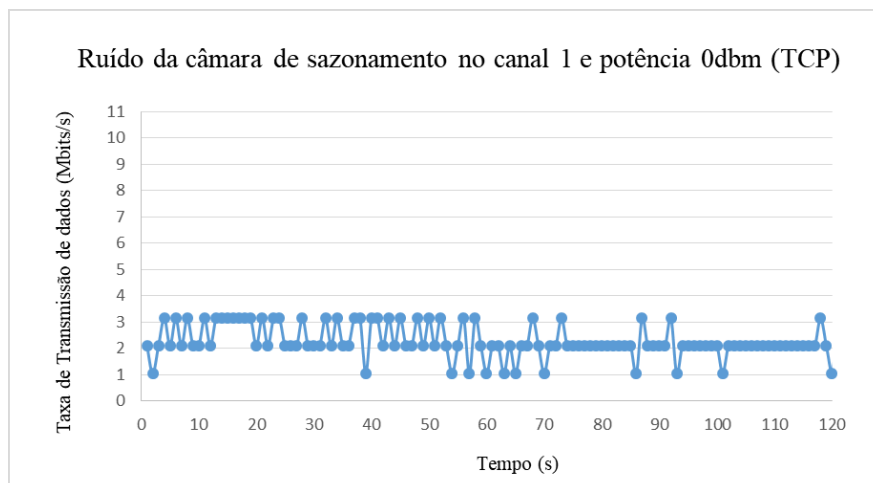


Figura 23 - Gráfico da Taxa de Transmissão de dados entre as antenas na câmara de sazamento com as lâmpadas desligadas no canal 1 e potência 0dBm com o protocolo de comunicação TCP.

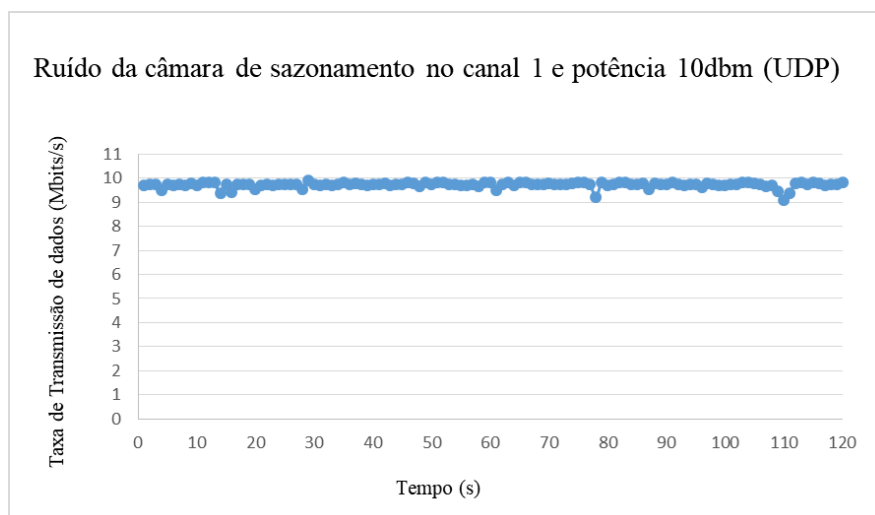


Figura 24 - Gráfico da Taxa de Transmissão de dados entre as antenas na câmara de sazamento com as lâmpadas desligadas no canal 1 e potência 10dBm com o protocolo de comunicação UDP.

A Figura 23 e a Figura 24 demonstram os gráficos da Taxa de Transmissão de dados, após análise verificou-se que não houveram sinais que pudessem reduzir as taxas de transmissão.

## 4.1.2 Ensaio 2 - Avaliação do Impacto de EMI em Redes Ethernet

### 4.1.2.1- Teste 1

O segundo ensaio consiste em verificar a taxa de transferência quando o sistema é submetido à aproximação de lâmpadas desligadas, onde o cabo CAT 5 (capacidade máxima de 100Mbps/s) foi conectado entre dois notebooks. Neste ensaio manteve-se a capacidade máxima de transferência em 100Mbps/s, e através do *software Iperf3* realizaram-se as medições de taxa de transmissão em TCP e UDP que são protocolos que servem ao propósito de enviar pacotes de dados a um endereço determinado por programação no *software*.

Em seguida, o cabo CAT 6 (capacidade máxima de 1Gbps/s) foi conectado entre dois notebooks, trafegando dados em capacidade máxima de transferência de 1Gbps/s, e através do mesmo *software*, foi verificada a taxa de transmissão. Os gráficos do Anexo A apresentam os resultados alcançados nas medições do Iperf3 e as análises dos resultados realizada no Capítulo 5.

### 4.1.2.2 - Teste 2

Na segunda etapa, foram posicionadas lâmpadas ligadas, uma a uma, próximas ao cabo, transmitindo em um primeiro momento 100Mbps/s e em seguida em 1Gbps/s, e através do mesmo *software* foram realizadas as medições de taxa de transferência.

Com o objetivo de verificar o impacto das diferentes tecnologias de lâmpadas na faixa de frequência de transmissão de dados via Ethernet, foram selecionadas como amostras sete tecnologias de lâmpadas, apresentadas na Tabela 2.

#### 4.1.2.2.1 Montagem e procedimentos do Teste 1

O padrão de Infraestrutura de Telecomunicações ANSI/TIA-1005 [43] para instalações industriais fornece requisitos de separação entre condutores de qualquer tecnologia de lâmpada e de cabos de dados onde foi verificado que os mesmos devem ser separados por

pelo menos 50 mm. Já a norma ANSI/EIA/TIA-569-A [3] para instalações comerciais fornece requisitos de separação entre condutores de lâmpadas fluorescentes e os cabos de rede de 120 mm. A distância utilizada neste ensaio é de 150 mm, ou seja, atendendo a estas duas recomendações.

A primeira parte dos ensaios consistem em verificar, através do *software* iperf3, a taxa real de transferência entre dois notebooks com capacidade máxima de transferência de 100Mbps/s, conectados por um cabo CAT 5 e outros dois notebooks com capacidade máxima de transferência de 1Gbps/s, conectados pelo cabo CAT 6. O esquema de montagem está representado na Figura 25 e a montagem no laboratório é apresentada na Figura 4.

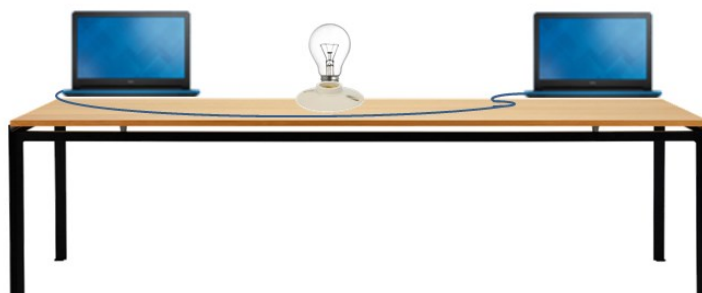


Figura 25 - Esquema de montagem da bancada utilizada no Teste 1, com dois notebooks, uma lâmpada desligada e um cabo par trançado.

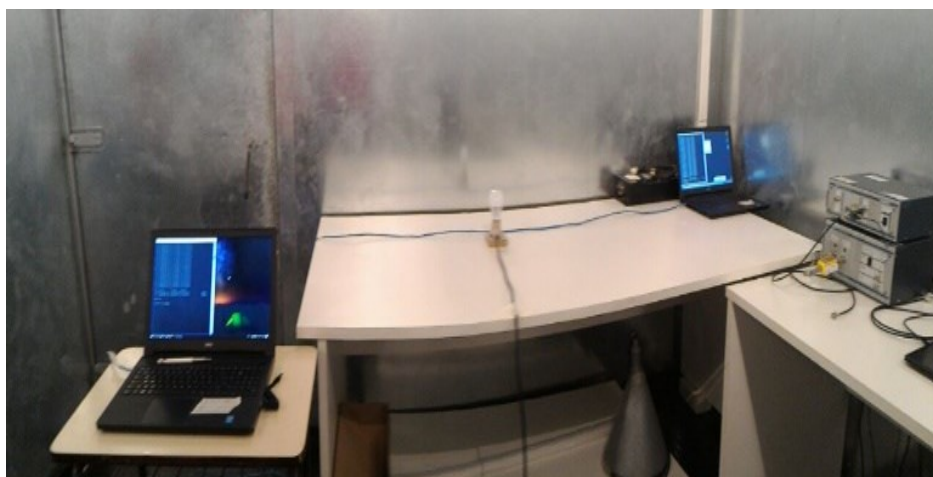


Figura 26 - Foto do esquema de montagem do teste 1 realizado no LABLUX.

#### 4.1.2.2.2 Montagem e procedimentos do Teste 2

O teste 2 teve como objetivo verificar a existência de redução de transferência do pacote de dados quando o cabo é submetido a aproximação das amostras de algumas tecnologias de

iluminação. As 13 lâmpadas foram posicionadas, uma por vez, e os dados de transferência foram registrados. Cada medição ocorreu num período de tempo de 1 minuto, visto que a esse ensaio é feito por cabo com conexão direta sem interferência externa. O esquema de montagem está representado na Figura 21 e a montagem no laboratório é apresentado na Figura 22.

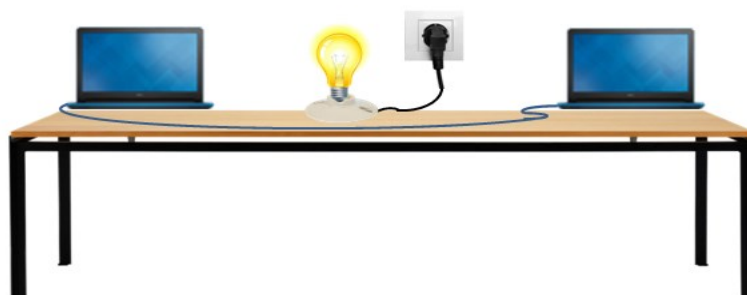


Figura 27 - Esquema de montagem da bancada utilizada no Teste 2, com dois notebooks, um cabo de par trançado e uma lâmpada ligada.



Figura 28 - Foto do esquema de montagem do teste 2 realizado no LABLUX.

# Capítulo 5 - Resultados

Com o objetivo de verificar e analisar os ensaios realizados, serão apresentados todos os resultados encontrados, a fim de, possibilitar a análise e concluir os resultados. Foram realizados dois ensaios e cinco testes distintos em sete modelos de lâmpadas com o intuito de verificar as possíveis interferências eletromagnéticas em redes de comunicação.

## 5.1 Testes e resultados

### 5.1.1 Ensaio 1 - Teste 1

Para o primeiro ensaio foi utilizado o analisador de espectro wi-spy, assim o intuito foi de encontrar a interferência ocasionada por cada tipo de lâmpada. Em todos os casos ensaiados, obtiveram-se resultados semelhantes, onde não foi encontrada interferência eletromagnética na faixa de 2,4GHz.

A Figura 23 apresenta um caso típico das medições, o gráfico gerado, nesse caso, foi a partir da utilização da lâmpada tipo LED (6W).

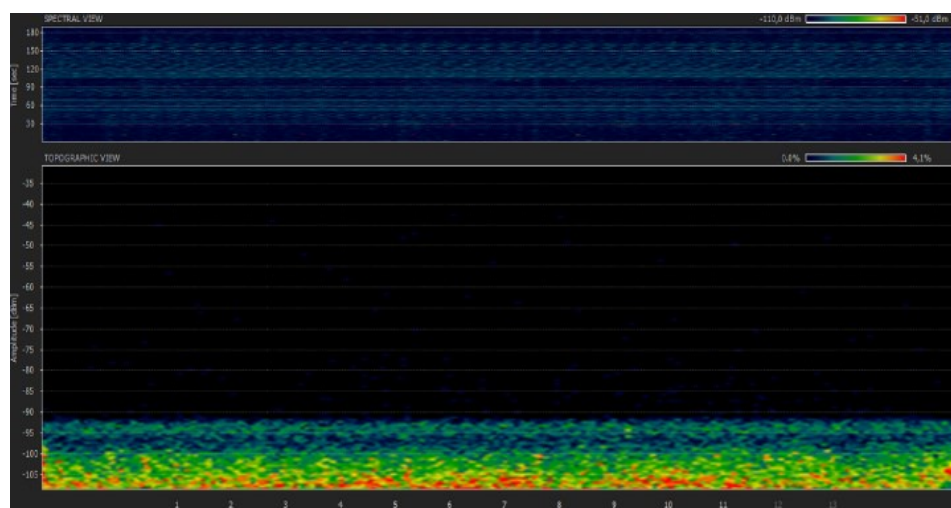


Figura 29 - Espectro do ensaio com a lâmpada 5, modelo LED (6500K) 6W. O espectro uniforme que acompanha o eixo x do gráfico expõe a uniformidade da leitura, ou seja, não há interferência.

Ao fim do ensaio verificou-se que para todos os casos não houveram sinais que distorcessem o espectro, evidenciando então a ausência de interferência.

### 5.1.2 - Ensaio 1 – Teste 2

O segundo ensaio fundamenta-se na medição da taxa de dados transportados quando há uma certa lâmpada alocada entre duas antenas que se comunicam. Nesse teste, foram realizadas medições para todas as tecnologias de lâmpadas utilizadas no primeiro ensaio.

Como era esperado, os valores da taxa de transmissão de dados não apresentaram decaimento significativo. As Figuras 24 e 25 apresentam o resultado da medição da taxa de transferência quando a lâmpada LED de 9W estava entre as antenas.

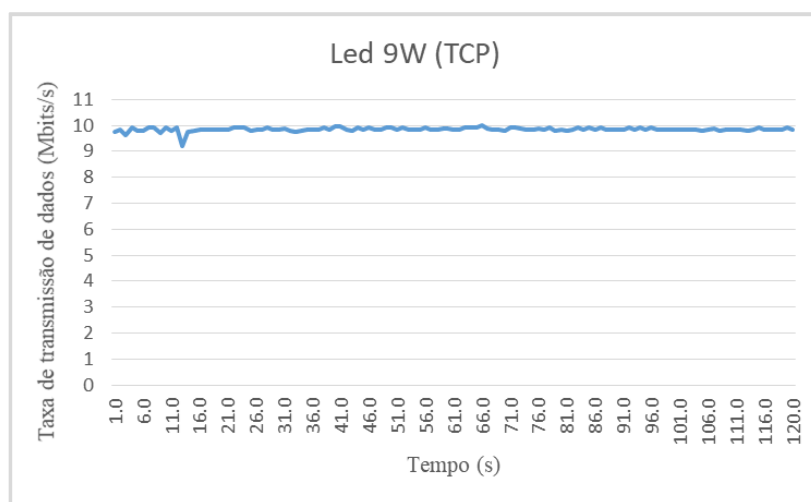


Figura 30 - Gráfico da Taxa de Transmissão de dados entre as antenas com a amostra 4 (lâmpada LED 9W) em ensaio. O protocolo de comunicação utilizado foi o TCP.

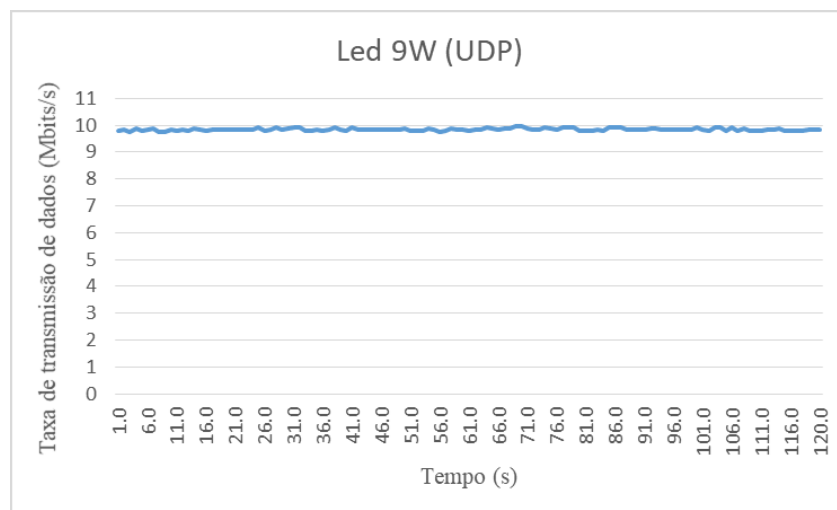


Figura 31 - Gráfico da Taxa de Transmissão de dados entre as antenas com a amostra 4 (lâmpada LED 9W) em ensaio. O protocolo de comunicação utilizado foi o UDP.

Na última etapa do teste 2, utilizaram-se todas as tecnologias de lâmpadas para análise alimentadas em conjunto e os resultados estão apresentados nas Figuras 26 e 27.

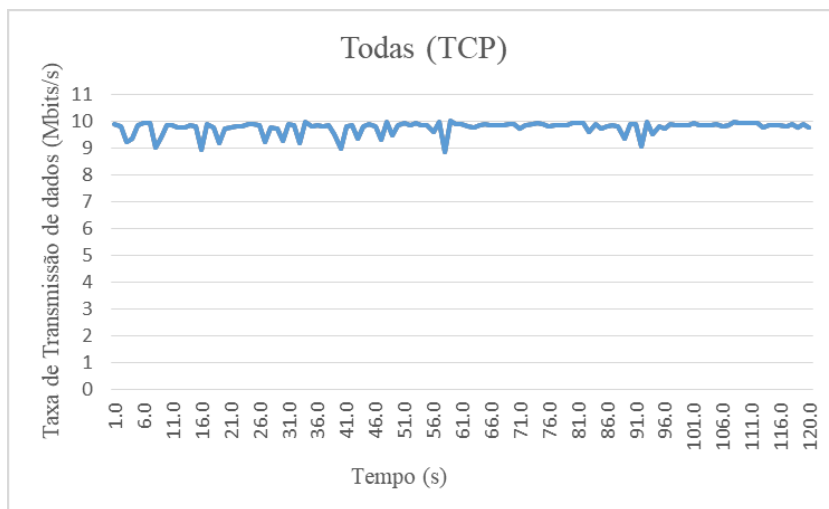


Figura 32 - Gráfico da Taxa de Transmissão de dados entre as antenas com todas as amostras em ensaio com o protocolo de comunicação TCP.

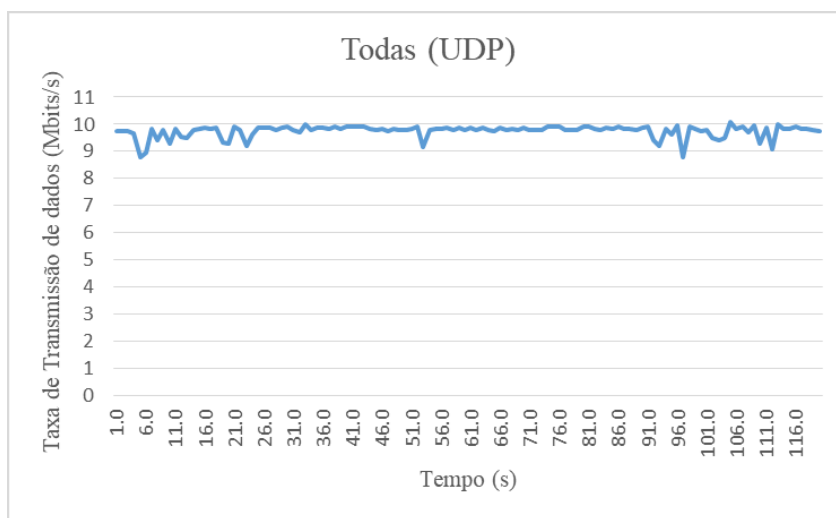


Figura 33 - Gráfico da Taxa de Transmissão de dados entre as antenas com todas as amostras em ensaio com o protocolo de comunicação UDP.

Ao fim dos ensaios verificou-se que para todos os casos não houveram sinais que pudessem reduzir as taxas de transmissão de pacotes, evidenciando então a ausência de interferência.

### 5.1.3 - Ensaio 1 - Teste 3

O último teste foi realizado fora da sala blindada, sendo então o espaço de ensaio susceptível a ruídos. A medição foi realizada durante o funcionamento normal da câmara de sazonalamento, onde as lâmpadas presentes passam por ciclagem.

Os dados obtidos no analisador de espectro estão apresentados na Figura 34, onde não é possível notar a presença da interferência das lâmpadas ligadas na rede.

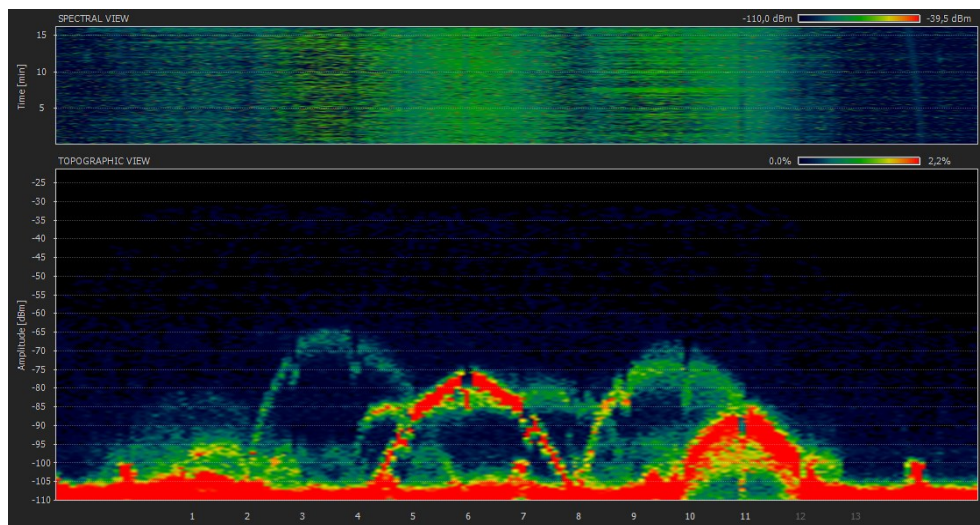


Figura 34 - Ruído medido na câmara de sazonalamento com as lâmpadas ligadas.

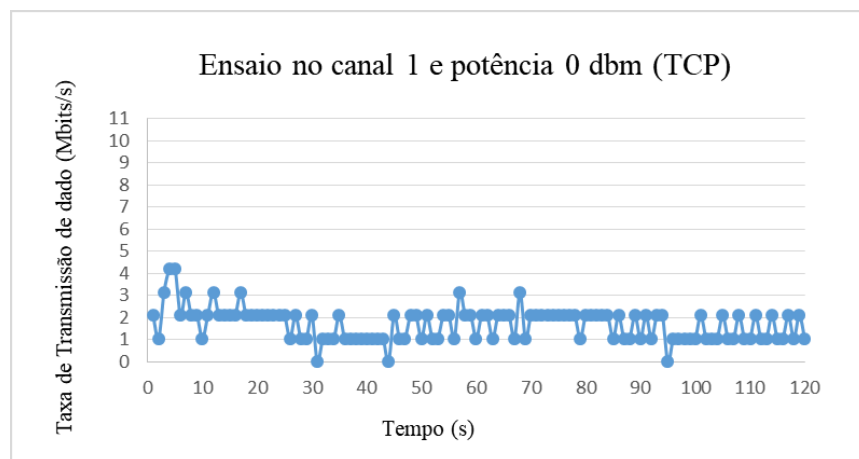


Figura 35 – Gráfico da Taxa de Transmissão de dados entre as antenas na sala de sazonalamento com as lâmpadas ligadas. O ensaio foi realizado na potência de 0dBm, canal 1 e com o protocolo de comunicação TCP.



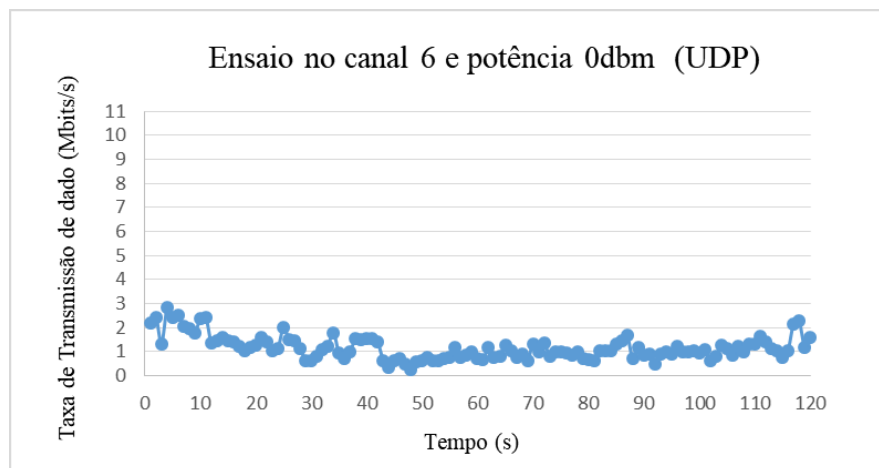


Figura 36 - Gráfico da Taxa de Transmissão de dados entre as antenas na sala de sazonalamento com as lâmpadas ligadas. O ensaio foi realizado na potência de 0dBm, canal 6 e com o protocolo de comunicação UDP.

Os gráficos da Figura 35 e da Figura 36 apresentam as medições das taxas de transferência nos canais 1 com o protocolo de comunicação TCP e 6 com o protocolo UDP, respectivamente e potência 0 dBm. É possível observar que independente do protocolo de comunicação TCP ou UDP, a taxa de transmissão de dados na potência de 0dBm, foi baixo relacionado aos valores obtidos na potência de 10 dBm (Figuras 32 a 37). Vale ressaltar que as medições nos canais 6 e 11 com o protocolo TCP não apresentaram resultados nas medições e nos canais 1 e 11 no protocolo UDP apresentou resultados incoerentes. Tal variação se dá, pois, o protocolo UDP não é orientado à conexão, ou seja, não garante nem a ordenação nem a entrega dos dados.

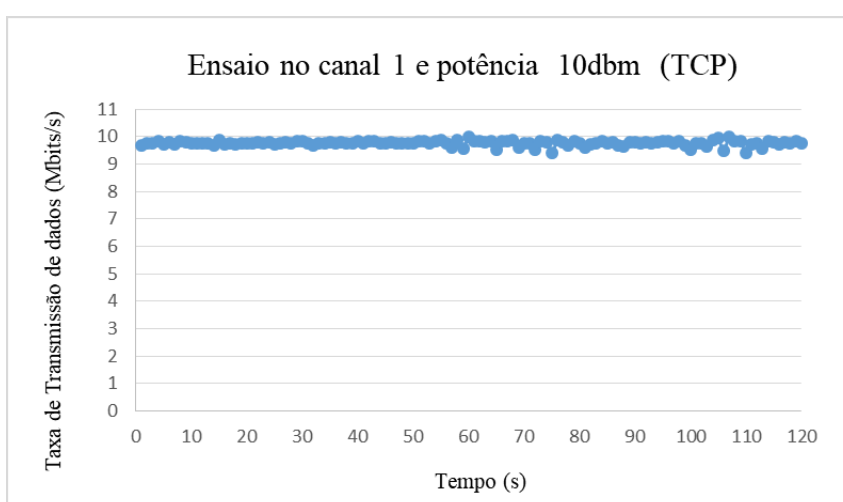


Figura 37 - Gráfico da Taxa de Transmissão de dados entre as antenas na sala de sazonalamento com as lâmpadas ligadas. O ensaio foi realizado na potência de 10dBm, canal 1 e com o protocolo de comunicação TCP.

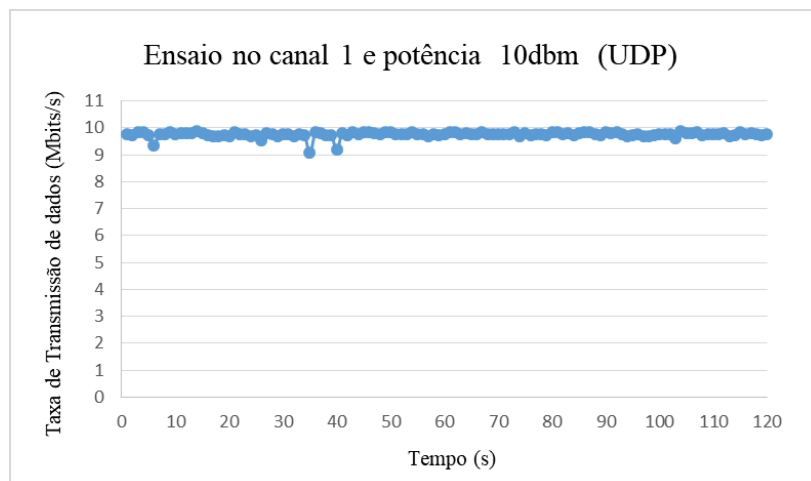


Figura 38 - Gráfico da Taxa de Transmissão de dados entre as antenas na sala de sazonnemento com as lâmpadas ligadas. O ensaio foi realizado na potência de 10dBm, canal 1 e com o protocolo de comunicação UDP.

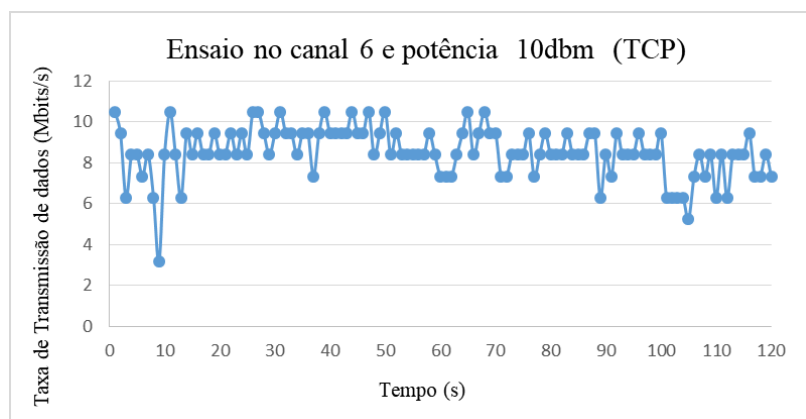


Figura 39 - Gráfico da Taxa de Transmissão de dados entre as antenas na sala de sazonnemento com as lâmpadas ligadas. O ensaio foi realizado na potência de 10dBm, canal 6 e com o protocolo de comunicação TCP.

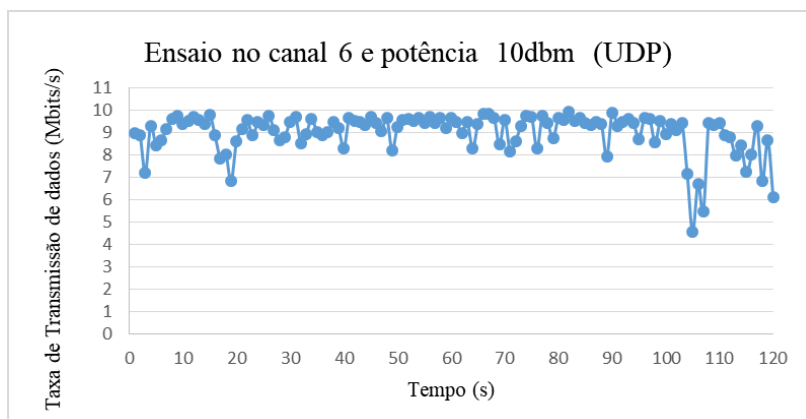


Figura 40 - Gráfico da Taxa de Transmissão de dados entre as antenas na sala de sazonnemento com as lâmpadas ligadas. O ensaio foi realizado na potência de 10dBm, canal 6 e com o protocolo de comunicação UDP.

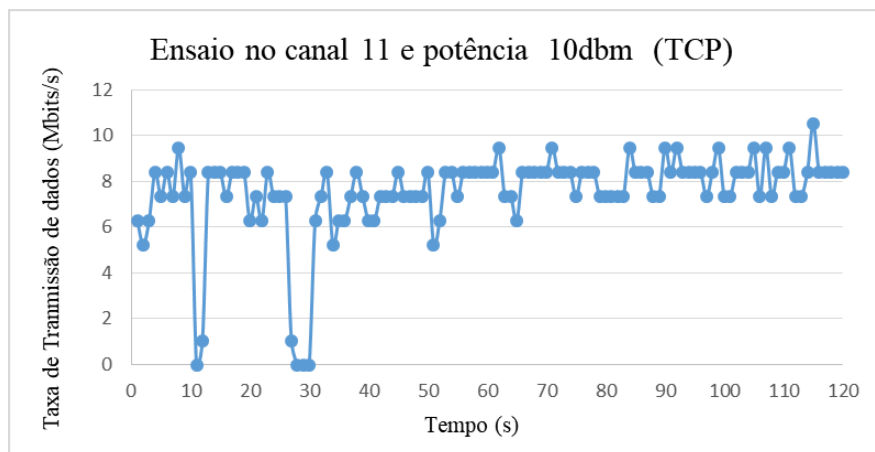


Figura 41 - Gráfico da Taxa de Transmissão de dados entre as antenas na sala de sazonnemento com as lâmpadas ligadas. O ensaio foi realizado na potência de 10dBm, canal 11 e com o protocolo de comunicação TCP.

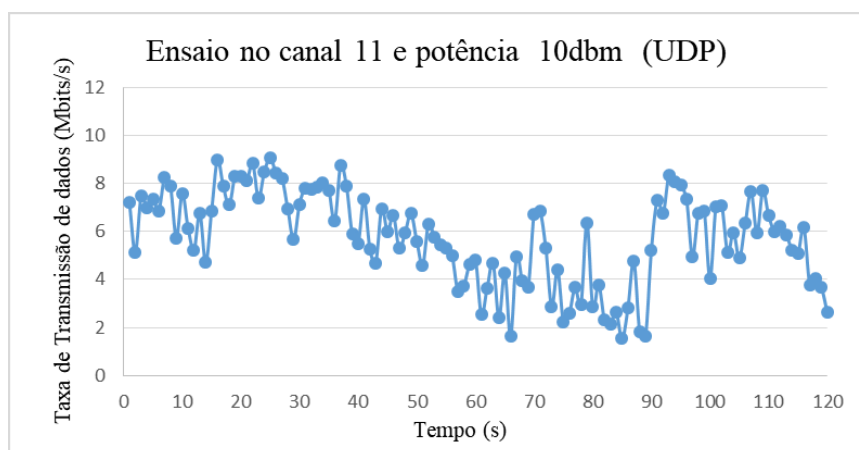


Figura 42 - Gráfico da Taxa de Transmissão de dados entre as antenas na sala de sazonnemento com as lâmpadas ligadas. O ensaio foi realizado na potência de 10dBm, canal 11 e com o protocolo de comunicação UDP.

Os gráficos da Figura 37 e da Figura 38 apresentam as medições das taxas de transferência no canal 1 e potência 10 dBm. É possível observar que em ambos os protocolos de comunicação (TCP ou UDP), a taxa de transmissão de dados foi alta e constante, diferentemente das taxas medidas a 0dBm. As medições dos canais 6 e 11 também obtiveram valores altos com médias variando em torno de 7 a 9 Mbits/s, no entanto com variações maiores (Figuras 34 a 37). Tal resultado pode ser explicado devido a interferência de outras redes presentes no ambiente sem blindagem eletromagnética, onde as redes próximas aglomeraram-se nos canais mais distantes do canal 1 (verificar na Figura 34).

O resultado obtido no ensaio mostrou que mesmo aumentando-se a quantidade de lâmpadas no meio, ainda não é possível encontrar ruídos provenientes de lâmpadas no espectro de 2,4GHz.

Neste texto base apresentam-se alguns dos resultados obtidos, informações complementares de todos os testes realizados para rede wi-fi estão no anexo A.

#### 5.1.4 - Ensaio 2 - Teste 1

Para exemplificar os ensaios, a Figura 43 e Figura 44 (100Mbps/s), Figura 45 e Figura 46 (1Gbps/s) apresentam os resultados obtidos durante as medições da taxa de transmissão de dados quando a amostra de lâmpada 6 foi colocada desligada próximo ao cabo. As Tabelas Tabela 3 e Tabela 4 contém as medições de taxa de transmissão de todas as amostras à 100 Mbps/s e 1 Gbps/s, respectivamente, com as lâmpadas desligadas. A primeira coluna descreve as amostras, a segunda coluna ilustra os valores medidos no protocolo TCP, a terceira coluna apresenta as medições no protocolo UDP e na última coluna é possível visualizar a porcentagem de perda de pacotes do protocolo UDP.

Como é possível observar, o uso dos diferentes protocolos (TCP e UDP) implicaram numa variação da taxa de transmissão média medida. Tal variação pode ser explicada devido ao fato do TCP ser um protocolo orientado à conexão que garante que os dados cheguem inalterados, apesar de todos os problemas que possam existir na conexão. Já no caso do UDP, não existe checagem dos dados durante o enlace, eles são transmitidos apenas uma vez e ao final é obtida a porcentagem da perda de pacote.

Os valores encontrados para as medições com as outras amostras foram semelhantes e por isso não estão detalhados neste texto.

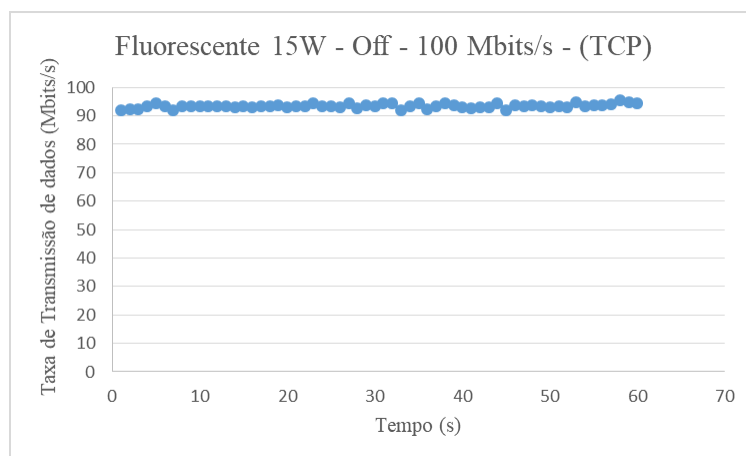


Figura 43- Ensaio realizado com a amostra 6 desligada. Protocolo de comunicação TCP e taxa de transmissão nominal de 100Mbps/s.

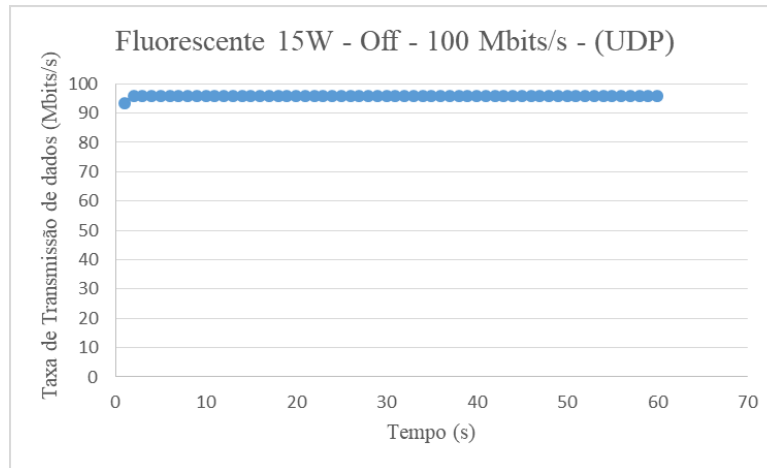


Figura 44 - - Ensaio realizado com a amostra 6 desligada. Protocolo de comunicação UDP e taxa de transmissão nominal de 100Mbps/s.

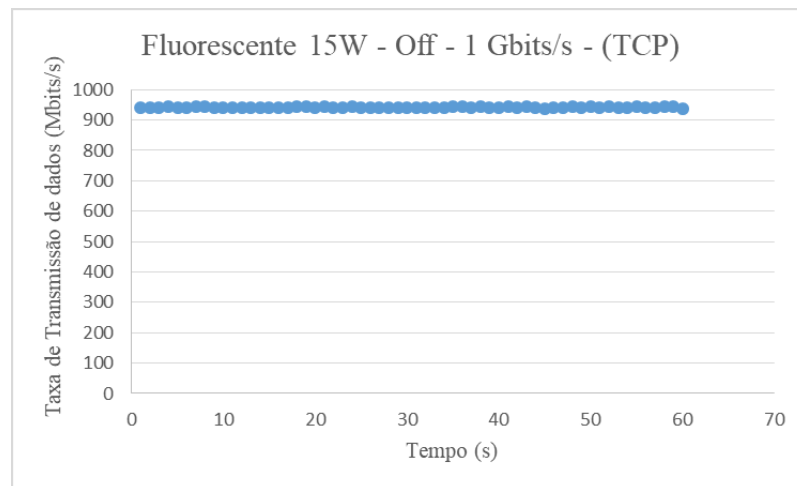


Figura 45 - Ensaio realizado com a amostra 6 desligada. Protocolo de comunicação TCP e taxa de transmissão nominal de 1Gbits/s.

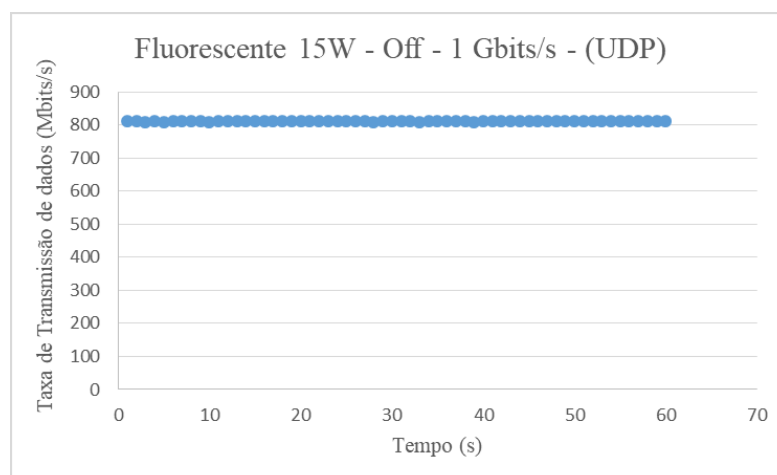


Figura 46 - Ensaio realizado com a amostra 6 desligada. Protocolo de comunicação UDP e taxa de transmissão nominal de 1Gbits/s.

| Taxa de Transmissão de Dados |               |               |            |
|------------------------------|---------------|---------------|------------|
| Amostra                      | TCP (Mbits/s) | UDP (Mbits/s) | Perdas UDP |
| 1                            | 96,2          | 95,8          | 5,80%      |
| 2                            | 93,5          | 95,8          | 5,50%      |
| 3                            | 93,4          | 95,8          | 5,60%      |
| 4                            | 93,3          | 95,8          | 5,50%      |
| 5                            | 93,3          | 95,8          | 5,60%      |
| 6                            | 93,4          | 95,8          | 5,60%      |
| 7                            | 93,3          | 95,8          | 5,70%      |
| 8                            | 93,3          | 95,7          | 6,30%      |
| 9                            | 93,3          | 95,8          | 5,80%      |
| 10                           | 93,4          | 95,8          | 5,40%      |
| 11                           | 93,5          | 95,8          | 5,40%      |
| 12                           | 93,4          | 95,8          | 5,90%      |
| 13                           | 93,4          | 95,8          | 5,80%      |
| Todas                        | 93,4          | 95,8          | 6,40%      |

Tabela 3 - Lâmpadas Desligadas (100 Mbits/s)

| Taxa de Transmissão de Dados |               |               |            |
|------------------------------|---------------|---------------|------------|
| Amostra                      | TCP (Mbits/s) | UDP (Mbits/s) | Perdas UDP |
| 1                            | 941           | 811           | 0,05%      |
| 2                            | 941           | 811           | 0,04%      |
| 3                            | 941           | 811           | 0,02%      |
| 4                            | 941           | 811           | 0,02%      |
| 5                            | 942           | 811           | 0,02%      |
| 6                            | 942           | 812           | 0,02%      |
| 7                            | 943           | 813           | 0,03%      |
| 8                            | 942           | 812           | 0,02%      |
| 9                            | 941           | 810           | 0,04%      |
| 10                           | 940           | 811           | 0,02%      |
| 11                           | 941           | 811           | 0,02%      |
| 12                           | 941           | 813           | 0,04%      |
| 13                           | 942           | 804           | 0,00%      |

|       |     |     |       |
|-------|-----|-----|-------|
| Todas | 811 | 811 | 0,01% |
|-------|-----|-----|-------|

Tabela 4 - Lâmpadas Desligadas (100 Mbits/s)

Apesar da diferença na taxa de transmissão de dados média existente nos dois protocolos ensaiados (TCP e UDP), é possível afirmar que em ambos os casos os valores medidos foram próximos aos valores nominais. Nesse caso, 96Mbits/s para a transmissão nominal de 100Mbits/s e de 811Gbits/s para 1Gbits/s quando utilizado o protocolo UDP e 94Mbits/s e 932Gbits/s no caso do TCP.

Os resultados obtidos revelam que a taxa de transmissão de dados na rede Ethernet não foi modificada pela presença das lâmpadas desligadas para todos os casos ensaiados.

### 5.1.5 Ensaio 2 - Teste 2

A Figura 47 e a Figura 48 (100Mbits/s), e a Figura 49 e Figura 50 (1Gbits/s) apresentam os resultados obtidos durante as medições da taxa de transmissão de dados quando a amostra 6 foi colocada ligada próximo ao cabo CAT 5 e 6, respectivamente, conforme apresentado no esquema da Figura 21. As Tabelas Tabela 5 e Tabela 6 contém as medições de taxa de transmissão de todas as amostras à 100 Mbits/s e 1 Gbits/s, respectivamente, com as lâmpadas ligadas.

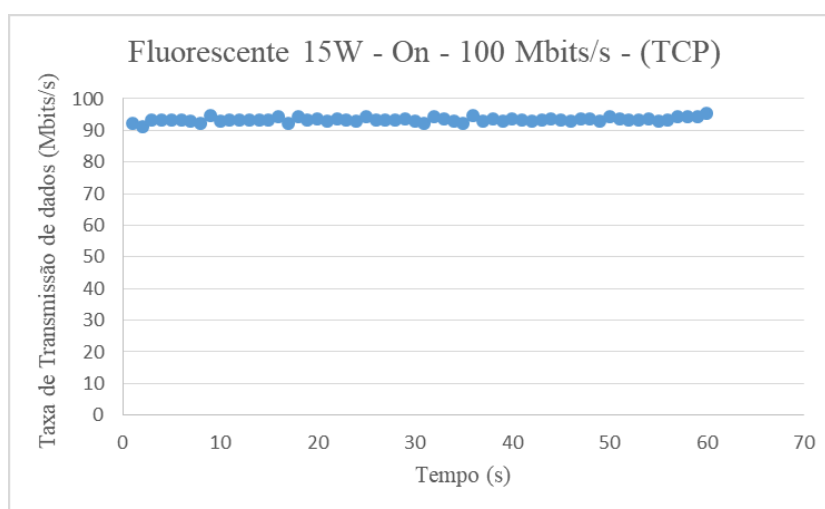


Figura 47 - Ensaio realizado com a amostra 6 ligada. Protocolo de comunicação TCP e taxa de transmissão nominal de 100Mbits/s.

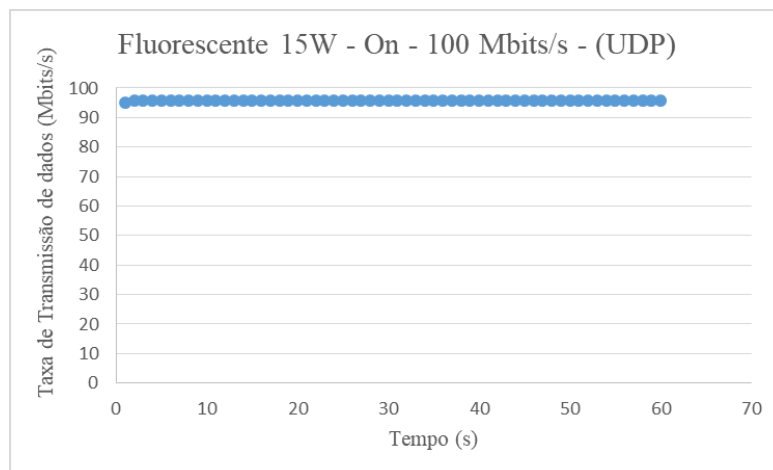


Figura 48 - Ensaio realizado com a amostra 6 ligada. Protocolo de comunicação UDP e taxa de transmissão nominal de 100Mbps/s.

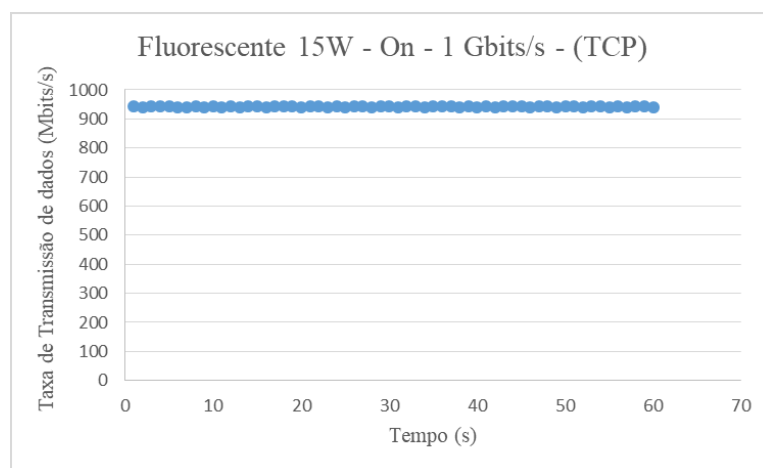


Figura 49 - Ensaio realizado com a amostra 6 ligada. Protocolo de comunicação TCP e taxa de transmissão nominal de 1Gbits/s.

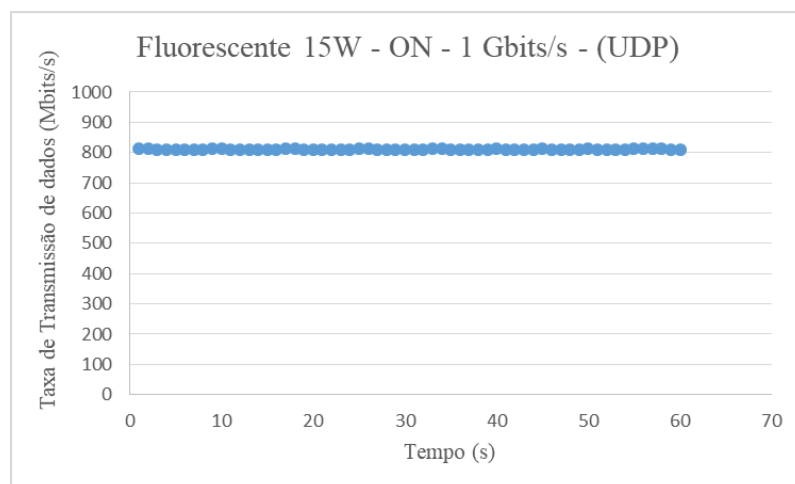


Figura 50 - Ensaio realizado com a amostra 6 ligada. Protocolo de comunicação UDP e taxa de transmissão nominal de 1Gbits/s.



| Taxa de Transmissão de Dados |               |               |            |
|------------------------------|---------------|---------------|------------|
| Amostra                      | TCP (Mbits/s) | UDP (Mbits/s) | Perdas UDP |
| 1                            | 93,4          | 95,8          | 5,70%      |
| 2                            | 93,5          | 95,8          | 5,90%      |
| 3                            | 93,5          | 95,8          | 5,60%      |
| 4                            | 93,5          | 95,8          | 5,40%      |
| 5                            | 93,4          | 95,8          | 5,50%      |
| 6                            | 93,4          | 95,8          | 6,10%      |
| 7                            | 93,5          | 95,8          | 5,90%      |
| 8                            | 93,3          | 95,7          | 5,60%      |
| 9                            | 93,5          | 95,8          | 5,60%      |
| 10                           | 93,4          | 95,8          | 5,60%      |
| 11                           | 93,3          | 95,8          | 5,60%      |
| 12                           | 93,5          | 95,8          | 5,80%      |
| 13                           | 93,4          | 95,8          | 5,70%      |
| Todas                        | 93,5          | 95,8          | 5,90%      |

| Tabela 5 - Lâmpadas Ligadas (100 Mbits/s) |               |               |            |
|-------------------------------------------|---------------|---------------|------------|
| Taxa de Transmissão de Dados              |               |               |            |
| Amostra                                   | TCP (Mbits/s) | UDP (Mbits/s) | Perdas UDP |
| 1                                         | 942           | 811           | 0,00%      |
| 2                                         | 942           | 811           | 0,03%      |
| 3                                         | 941           | 811           | 0,02%      |
| 4                                         | 941           | 810           | 0,06%      |
| 5                                         | 941           | 811           | 0,01%      |
| 6                                         | 941           | 812           | 0,03%      |
| 7                                         | 942           | 813           | 0,05%      |
| 8                                         | 940           | 810           | 0,02%      |
| 9                                         | 941           | 810           | 0,05%      |
| 10                                        | 942           | 813           | 0,38%      |
| 11                                        | 944           | 811           | 0,02%      |
| 12                                        | 941           | 810           | 0,22%      |

|       |     |     |       |
|-------|-----|-----|-------|
| 13    | 941 | 811 | 0,04% |
| Todas | 941 | 805 | 0,02% |

Tabela 6 - Lâmpadas Ligadas (1 Gbits/s)

É possível observar que independente do protocolo de comunicação TCP ou UDP, não ocorreu perda de pacotes significativa na taxa de transmissão de dados, tanto para configuração em 100Mbits/s quanto para 1Gbits/s. Além disso, os valores da taxa de transmissão de dados não apresentaram decaimento suficiente para caracterizar a interferência das lâmpadas.

Outro aspecto a ser destacado é a diferença de valores medidos através do *software Iperf3* quando realizados em sistemas operacionais diferentes. Durante os ensaios realizados com o sistema operacional *Windows* foi observado que o cabo de CAT 6, não atingia valores próximos ao seu limite máximo (1 Gbits/s). Portanto foram realizadas medições em sistema operacional *Linux* a fim de verificar se o cabo de CAT 6 atingiria os valores esperados. Os valores médios são apresentados na Tabela VI que faz um comparativo entre os dois sistemas operacionais. Além disso, o cabo de CAT 5 foi ensaiado em sistema operacional *Windows* pois atingiu valor próximo ao limite máximo (100Mbits/s). Portanto o cabo de CAT 6 foi medido em sistema operacional *Linux*.

| Taxa de Transmissão de Dados |              |               |
|------------------------------|--------------|---------------|
|                              | ON (Mbits/s) | OFF (Mbits/s) |
| TCP Windows                  | 529          | 542           |
| TCP Linux                    | 941          | 932           |
| UDP Windows                  | 508          | 534           |
| UDP Linux                    | 810          | 810           |

Tabela 7 - Diferenças Entre Sistemas Operacionais (1 Gbits/s)

Neste texto base apresentam-se alguns dos resultados obtidos, informações complementares de todos os testes realizados para rede ethernet estão no anexo B.

No anexo C está inserido uma publicação acadêmica do grupo de pesquisa sobre este tema.

# Capítulo 6 - Conclusões e Trabalhos Futuros

## 6.1 Conclusões

Neste presente trabalho buscou-se investigar o possível impacto na rede wireless (2,4GHz) e na rede Ethernet originado por uma potencial fonte de interferência de EMI produzida por sete tecnologias de iluminação distintas.

Os resultados dos ensaios evidenciam que, embora os componentes eletrônicos causem interferência eletromagnética em diferentes frequências, a taxa de transmissão das redes wireless e Ethernet não foram afetadas por essas diferentes tecnologias e que os cabos CAT 5 e CAT 6 não sofreram perda de performance quando próximos a equipamentos de luminotécnica. Visto que os cabos CAT 5 e CAT 6 são projetados para suprimir interferências e de acordo com os resultados apresentados neste trabalho conclui-se que estão bem protegidos. Em todos os ensaios houve ausência de interferência e ausência de perdas de pacotes.

A fim de caracterizar completamente o poder de interferência na rede wireless (2,4GHz) e Ethernet, esse trabalho resultou de diversos ensaios que foram realizados no Lablux - UFF, o ensaio 1 foi conduzido em três partes. Na primeira, utilizou-se um analisador de espectro (wi-spy) para verificação da influência de cada modelo de lâmpada nos 11 canais de wi-fi disponíveis. Na segunda parte, com interesse em se confirmar os resultados obtidos no primeiro ensaio, utilizou-se duas antenas para analisar o decaimento da taxa de transferência do pacote de dados. Na última parte, todos os ensaios foram repetidos para um caso extremo.

Os cenários foram montados em uma sala de sazonalização de lâmpadas LEDs e fluorescentes compactas, com aproximadamente 250 lâmpadas. O ensaio 2 foi conduzido em duas partes. Na primeira, verificou-se a taxa de transmissão quando o sistema era submetido à aproximação de lâmpadas desligadas. Na segunda etapa, foram posicionadas lâmpadas ligadas, uma a uma, próximas ao cabo, transmitindo em um primeiro momento 100Mb/s e em seguida em 1Gbits/s, e através do mesmo *software* foram realizadas as medições de taxa de transmissão.

Além disso, é possível avaliar, a partir dos resultados obtidos, que o protocolo para envio dos pacotes pode interferir na eficiência e confiabilidade do tráfego de pacotes de dados.

Deste modo, pode-se validar a eficácia na aplicabilidade da Norma ABNT – NBR IEC/CISPR 15 [4], em não exigir que esses testes sejam realizados em lâmpadas das diversas tecnologias existentes.

Os resultados obtidos minimizam a preocupação da sociedade, uma vez que as normas estão sendo aplicadas de forma eficaz. Cabe destacar que este trabalho aplica uma metodologia de ensaio a equipamentos de luminotécnica, mas pode ser estendido a outros para verificar os impactos de EMI, ou até servir de base para que outros procedimentos certificadores sejam elaborados e implantados.

Este trabalho apresentou um procedimento para avaliação dos impactos das interferências eletromagnéticas de equipamentos de iluminação em redes de comunicação. Esta análise comprovou um item não destacado nas normas CISPR15 e CISPR22, a não afetação das tecnologias de iluminação nas redes de comunicação Ethernet e Wi-Fi.

Esta avaliação está limitada, até o presente momento, aos equipamentos analisados e listados na Tabela 2, devendo ser ampliada quando do lançamento de novos equipamentos no mercado.

## 6.2 Trabalhos Futuros

Como trabalhos futuros as sugestões seriam:

Avaliação do impacto de EMI nas tecnologias de iluminação em redes sem fio, a fim de, analisar o espectro de frequência de 5 GHz.

Entende-se também que estudos semelhantes devam ser realizados para outros equipamentos como: *drives* de motores elétricos, roteadores, repetidores, inversores de sistemas fotovoltaicos e outros dispositivos que estão em ampla difusão devido a implantação de *smart homes*.

Outra linha de estudos que deve ser explorada é a avaliação das distâncias mínimas nas instalações elétricas quando estão implantados sistemas de energia e redes de computadores cabeadas em bandejas próximas. Neste estudo, explorou-se dentro das recomendações normatizadas existentes para cabos de boa classificação. Acredita-se que os procedimentos de instalação e montagem possam ser reescritos, frente ao desenvolvimento de novos materiais de instalação e se necessário sugeridas novas medidas limites, podendo reduzir custos.

# Referências Bibliográficas

- [1] C. Cassiolato, “EMI - INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA,” 2019. [Online]. Available: [http://www.profibus.org.br/artigos\\_tecnicos/interferencia-eletromagnetica-e-instalacoes-profibus](http://www.profibus.org.br/artigos_tecnicos/interferencia-eletromagnetica-e-instalacoes-profibus). [Accessed: 01-May-2019].
- [2] E. L. M. Mehl, “Qualidade de Energia Elétrica,” Universidade Federal do Paraná - UFPR, 2004.
- [3] J. M. S. Pinheiro, “Interferência Eletromagnética em Redes de Computadores,” 2004. [Online]. Available: [https://www.projetoderedes.com.br/artigos/artigo\\_interferencias\\_eletromagneticas.php](https://www.projetoderedes.com.br/artigos/artigo_interferencias_eletromagneticas.php). [Accessed: 01-May-2019].
- [4] ABNT NBR IEC/CISPR 15, *Limites e Métodos de Medição das Radioperturbações Características dos Equipamentos Elétricos de Iluminação e Similares*. Brasil, 2014, pp. 1–56.
- [5] ABNT NBR IEC/CISPR 22, *Equipamento de Tecnologia da Informação - Características de Radioperturbação - Limites e Métodos de Medição*. Brasil, 2013, pp. 1–82.
- [6] J. E. EGYDIO, “ANÁLISE DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICAS EM SISTEMAS MULTIMÍDIA COM BLUETOOTH EM VEÍCULOS AUTOMOTORES,” Universidade Federal do ABC, 2014.
- [7] M. Havas and J. Marrongelle, “RETRACTED: Replication of heart rate variability provocation study with 2.4-GHz cordless phone confirms original findings,” 2013.
- [8] Y. Feng, C. Jayasundara, A. Nirmalathas, E. Wong, and A. H. R. Design, “IEEE 802 . 11 HCCA for Tactile Applications,” pp. 1–3, 2017.
- [9] S. W. A. de Brito, S. W. A. de Brito, D. P. V. F. de Sousa, and P. T. Endo, “UM ESTUDO DE CASO SOBRE INTERFERÊNCIA INTER-CANAL EM REDES SEM FIO 802.11,” Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Caruaru - FAFICA, 2009.
- [10] S. S. de Oliveira, “Procedimento para escolha de pontos de acesso de redes sem fio Wi-Fi indoor,” Universidade de São Paulo, 2014.
- [11] IEEE, “IEEE 802.3,” 2019. [Online]. Available: <https://www.normastecnicas.com/ieee/ieee-802-3/>. [Accessed: 25-Apr-2019].

- [12] M. V. de Oliveira and W. dos S. Inácio, “Comparativo Entre as Tecnologias de Transmissão de Dados de Redes Locais de Computadores,” Campos dos Goytacazes/RJ, 2010.
- [13] I. Jeffrey, C. Gilmore, G. Siemens, and J. LoVetri, “Hardware Invariant Protocol Disruptive Interference for 100BaseTX Ethernet Communications,” *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol. 46, no. 3, pp. 412–422, Aug. 2004.
- [14] K. Azadet, Meng-Lin Yu, P. Larsson, and D. Inglis, “A gigabit transceiver chip set for UTP CAT-6 cables in digital CMOS technology,” in *2000 IEEE International Solid-State Circuits Conference. Digest of Technical Papers (Cat. No.00CH37056)*, 2000, pp. 306–307.
- [15] C. E. Morimoto, *Redes, Guia Prático*, 2nd ed. GDH Press e Sul Editores, 2011.
- [16] Dipol, “Multimodo e monomodo de cabos de fibra óptica,” 2019. [Online]. Available: [https://www.dipol.pt/multimodo\\_e\\_monomodo\\_de\\_cabos\\_de\\_fibra\\_optica\\_bib321.htm](https://www.dipol.pt/multimodo_e_monomodo_de_cabos_de_fibra_optica_bib321.htm). [Accessed: 10-May-2019].
- [17] A. Iqbal *et al.*, “Interoperable Internet-of-Things platform for smart home system using Web-of-Objects and cloud,” *Sustain. Cities Soc.*, vol. 38, pp. 636–646, Apr. 2018.
- [18] K. M. Rashid, J. Louis, and K. K. Fiawoyife, “Wireless electric appliance control for smart buildings using indoor location tracking and BIM-based virtual environments,” *Autom. Constr.*, vol. 101, pp. 48–58, May 2019.
- [19] ABNT NBR IEC 61000-4-6, *Compatibilidade eletromagnética (EMC) Parte 4-6: Técnicas de medição e ensaio - Imunidade à perturbação conduzida, induzida por campos de radiofrequência*. 2011, pp. 1–57.
- [20] J. M. S. Pinheiro, “Interferência Eletromagnética,” 2004. [Online]. Available: [https://www.projetoderedes.com.br/tutoriais/tutorial\\_interferencia\\_eletromagnetica\\_01.php](https://www.projetoderedes.com.br/tutoriais/tutorial_interferencia_eletromagnetica_01.php). [Accessed: 05-Apr-2019].
- [21] F. S. J. S. R. S. S. H. G. Costa, “ELETROMAGNETISMO: a interferência causada em equipamentos médico-hospitalares ocasionados pelo campo eletromagnético existente em telefonia celular,” Instituto Federal de Educação Ciências e Tecnologia da Paraíba.
- [22] M. Zevzikovas, “Efeitos da Interferência Eletromagnética Conduzida em Equipamentos Eletromédicos no Ambiente Hospitalar,” Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, 2004.
- [23] A. . Trzynadlowski, *Power Electronics Handbook*. Elsevier, 2018.
- [24] V. Popov and A. Shevchenko, “Analysis of standards and norms of electromagnetic

- irradiation levels in wireless communication systems on railway transport,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 149, pp. 239–245, 2019.
- [25] I. Fernandez *et al.*, “Characterization of non-intentional emissions from distributed energy resources up to 500 kHz: A case study in Spain,” 2019.
  - [26] J. Mologni, “Compatibilidade Eletromagnética,” 2016. [Online]. Available: <https://www.esss.co/blog/compatibilidade-eletromagnetica/>. [Accessed: 01-May-2019].
  - [27] R. de S. Bittencourt, “Análise de Compatibilidade Eletromagnética em Lâmpadas Fluorescentes Compactas com Reator Integrado no Mercado Brasileiro,” Universidade Federal Fluminense, 2017.
  - [28] A. C. P. Sartin, “Avaliação da suscetibilidade eletromagnética dos cabos metálicos dos sistemas de supervisão, proteção, comunicação e controle de subestações de alta tensão,” Universidade Estadual Paulista, 2010.
  - [29] M. A. Ayob, F. P. Madrin, H. I. Hussien, M. A. Abu Taib, M. F. M. Yasir, and E. Supriyanto, “Optimal Cables Arrangement for Minimizing Electromagnetic Interference in Hospital,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 133, pp. 440–447, 2018.
  - [30] K. L. Siu and W. W. L. Lai, “A lab study of coupling effects of electromagnetic induction on underground utilities,” *J. Appl. Geophys.*, vol. 164, pp. 26–39, May 2019.
  - [31] L. Zhai, L. Lin, C. Song, X. Zhang, and H. Gu, “Mitigation Strategy for AC Side to Suppress CM Current Flowing on DC Cables of the Motor Drive System,” *Energy Procedia*, vol. 105, pp. 4464–4469, May 2017.
  - [32] D. E. Comer, *Redes de Computadores e Internet*, 6th ed. São Paulo: Bookman, 2016.
  - [33] N. Blas, “Guide to Cat5 and Cat6 Networking Cable,” 2019. [Online]. Available: [http://www.cablesondemand.com/images/NewPages/Cat5E\\_6/images/NetworkingCables.pdf](http://www.cablesondemand.com/images/NewPages/Cat5E_6/images/NetworkingCables.pdf). [Accessed: 07-May-2019].
  - [34] B. A. F. F. Mosharraf, *Redes de Computadores: Uma Abordagem Top-Down*. Bookman, 2013.
  - [35] S. Awang Nor, R. Alubady, and W. Abduladeem Kamil, “Simulated performance of TCP, SCTP, DCCP and UDP protocols over 4G network,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 111, pp. 2–7, 2017.
  - [36] M. A. S. Priscila Gonçalves Doria, “Avaliação de Desempenho do Protocolo DCCP na presença de erros de Transmissão,” Universidade Federal de Campina Grande - UFCG.
  - [37] A. I. Headquarter, “EMI Test Accessories CISPR 15,” 2019. [Online]. Available: <https://www.hik-consulting.pl/EMC/files/cispr-15-accessories.pdf>. [Accessed: 06-May-

- 2019].
- [38] ABNT NBR 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*. 2015, pp. 1–86.
  - [39] Associação dos Instrutores NetAcademy, “Conceitos Básicos de Ethernet,” 2007. [Online]. Available: [http://www.lsi.usp.br/~acacio/CCNA\\_Cap06Mod01.pdf](http://www.lsi.usp.br/~acacio/CCNA_Cap06Mod01.pdf). [Accessed: 08-May-2019].
  - [40] D. E. Comer, *Interligação de redes com TCP/IP -: Princípios, protocolos e arquitetura*, 6th ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.
  - [41] Y. Cheng, D. Yang, H. Zhou, and H. Wang, “Adopting IEEE 802.11 MAC for industrial delay-sensitive wireless control and monitoring applications: A survey,” *Comput. Networks*, vol. 157, pp. 41–67, Jul. 2019.
  - [42] Metageek, “Wi-Spy/Chanalyzer - Sample Report,” 2017. [Online]. Available: <https://www.metageek.com/products/wi-spy/ChanalyzerSampleReport.pdf>. [Accessed: 01-May-2019].
  - [43] ANSI/TIA - 1005-A, “ANSI/TIA-1005-A Telecommunications Infrastructure Standard For Industrial Premises,” 2012.



## Anexo A - Gráficos dos Ensaios WI-FI

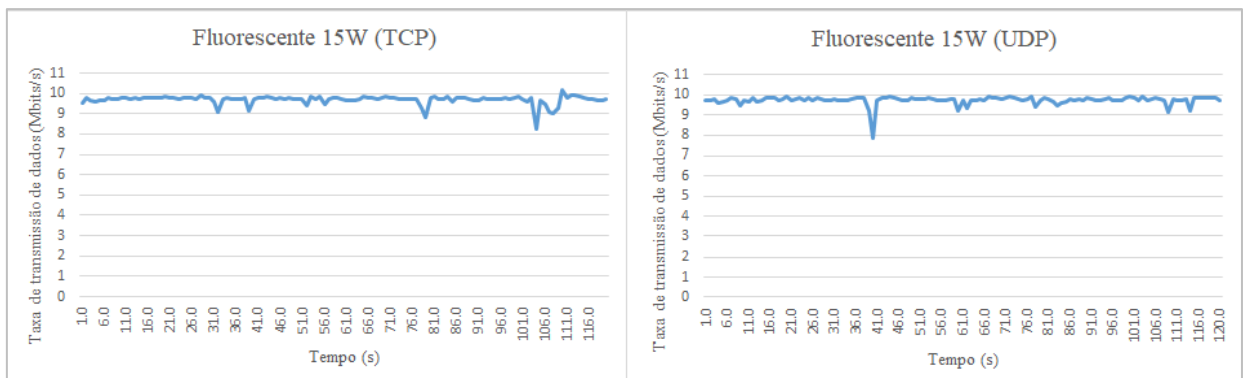


Figura 51 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede WI-FI - Lâmpada Fluorescente 15W.

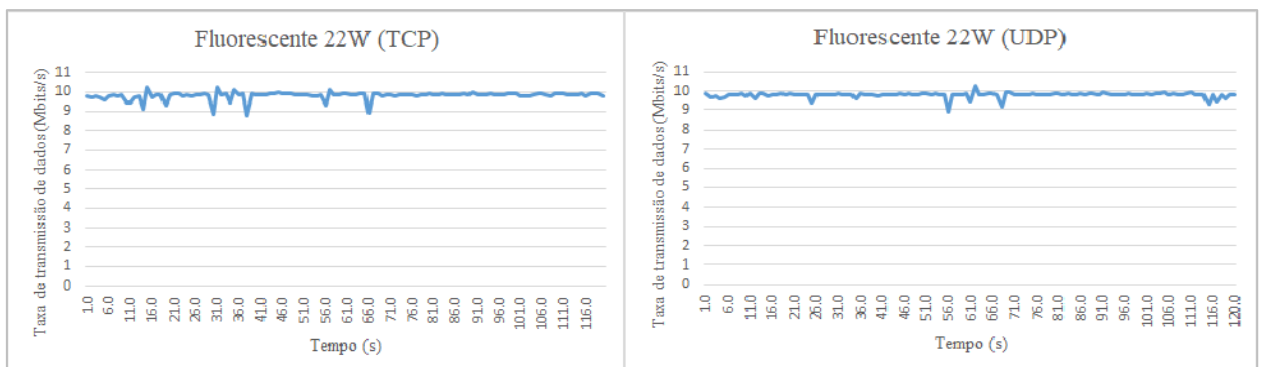


Figura 52 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede WI-FI - Lâmpada Fluorescente 22W.

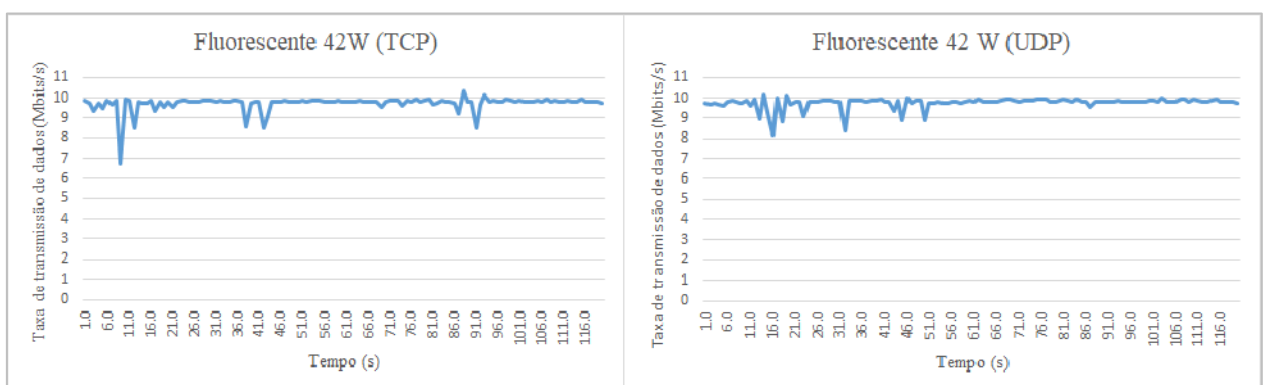


Figura 53 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede WI-FI - Lâmpada Fluorescente 42W.

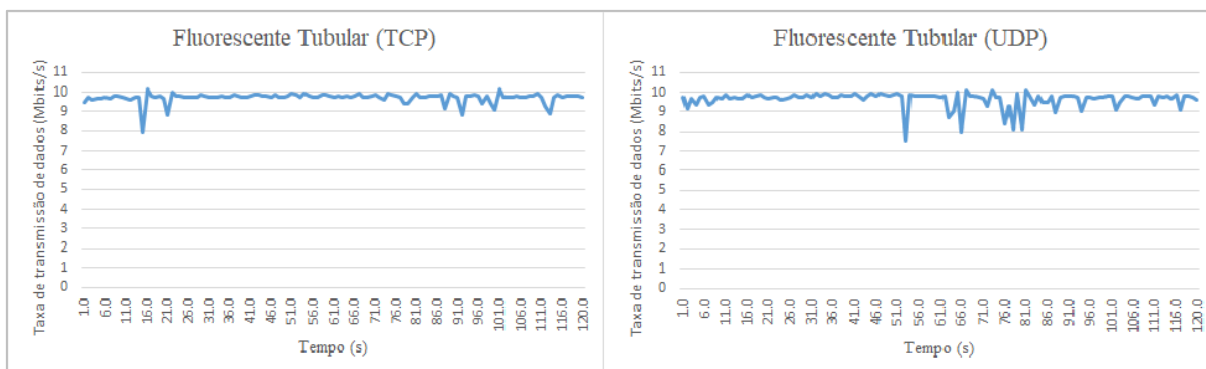


Figura 54 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede WI-FI - Lâmpada Fluorescente 42W.

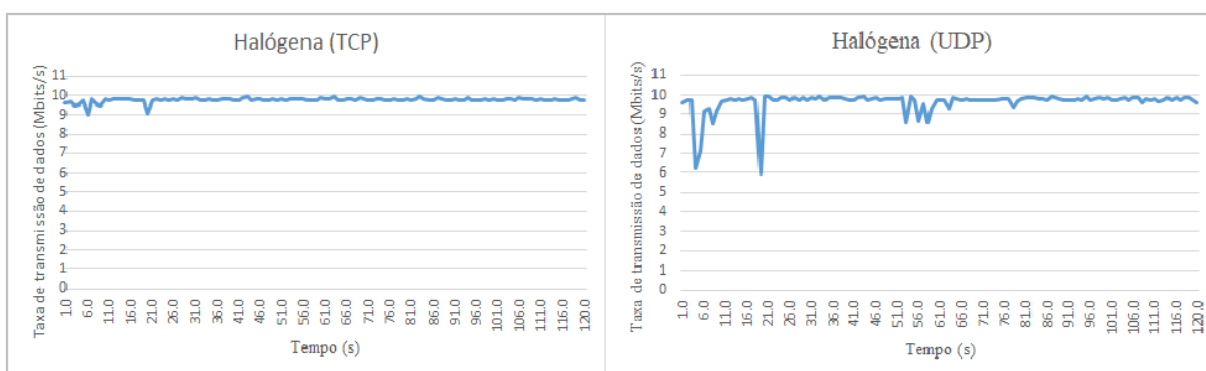


Figura 55 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede WI-FI - Halógena.

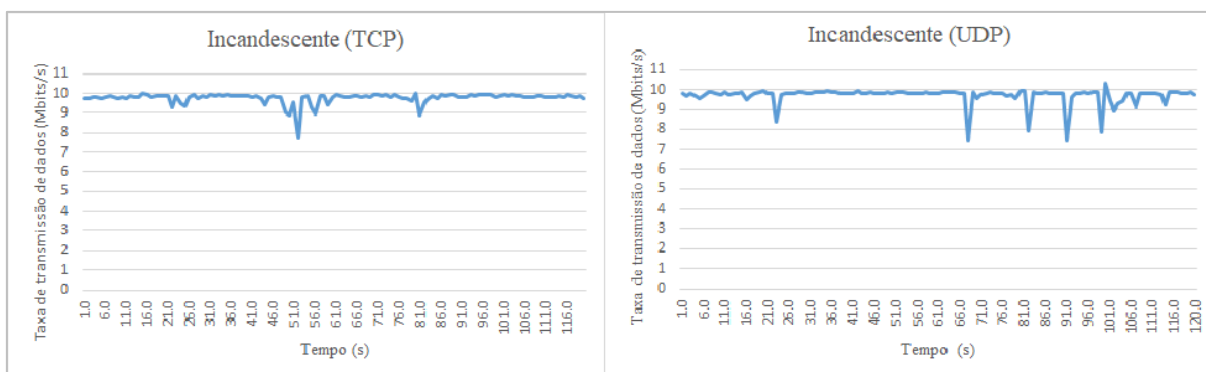


Figura 56 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede WI-FI - Incandescente.

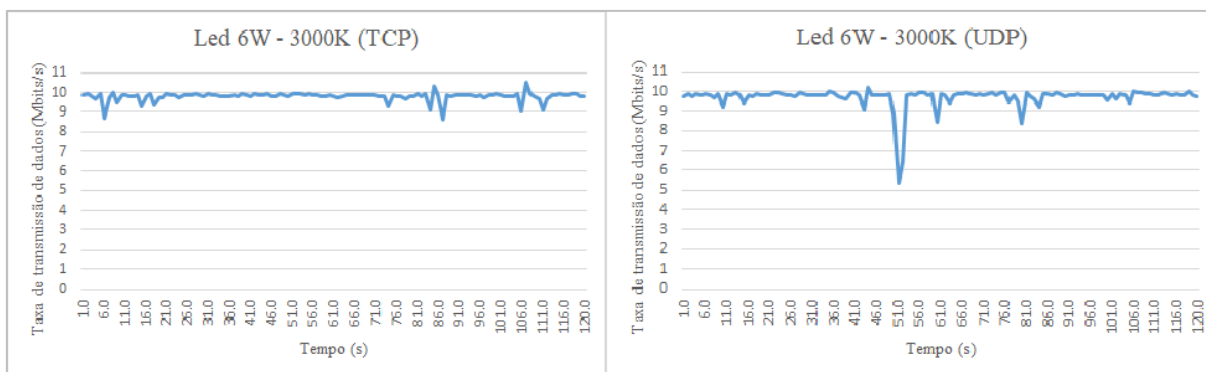


Figura 57 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede WI-FI – Led 6W – 3000K.

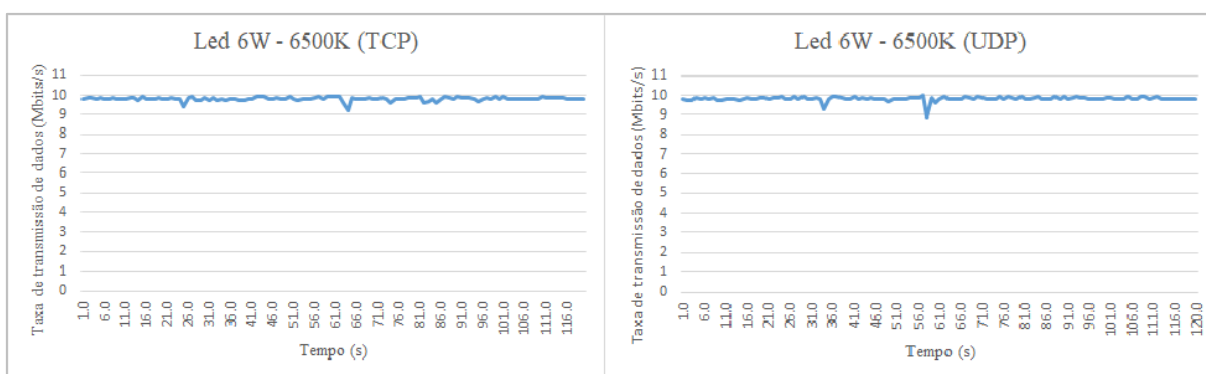


Figura 58 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede WI-FI - Led 6W – 6500K.

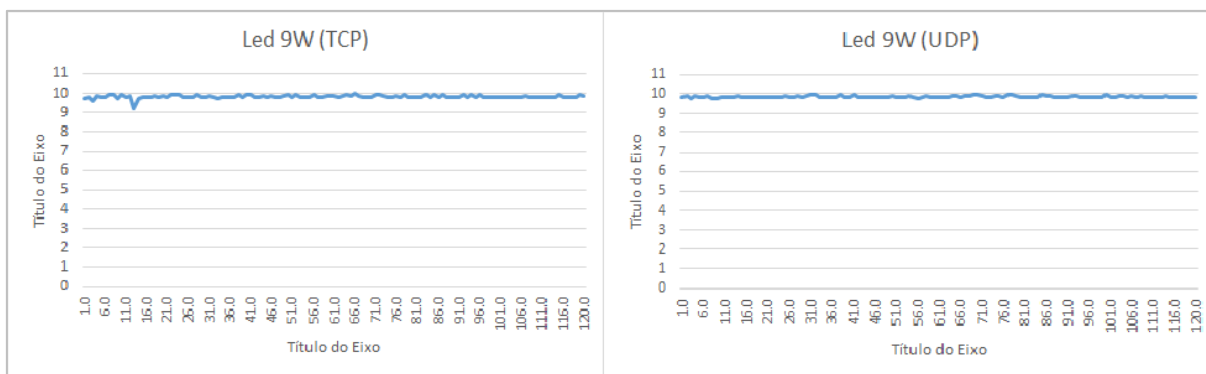


Figura 59 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede WI-FI – Led 9W – 6500K.

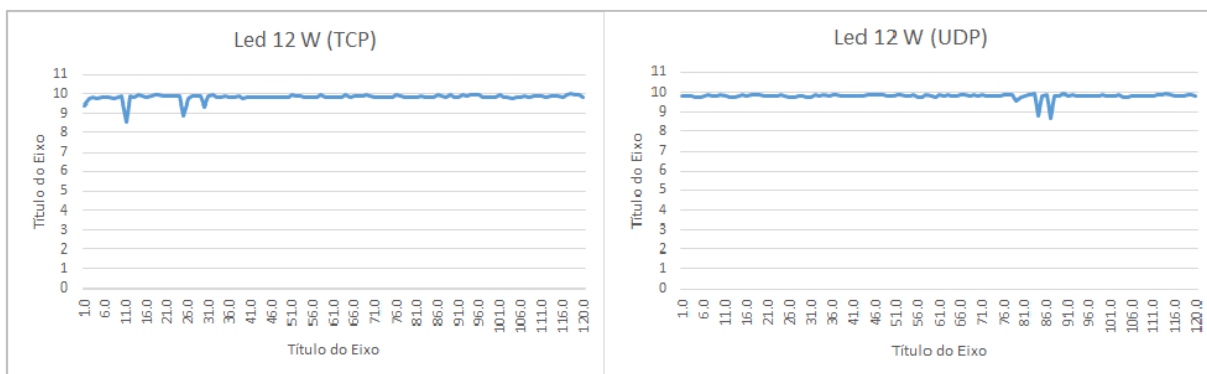


Figura 60 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede WI-FI – Led 12W.

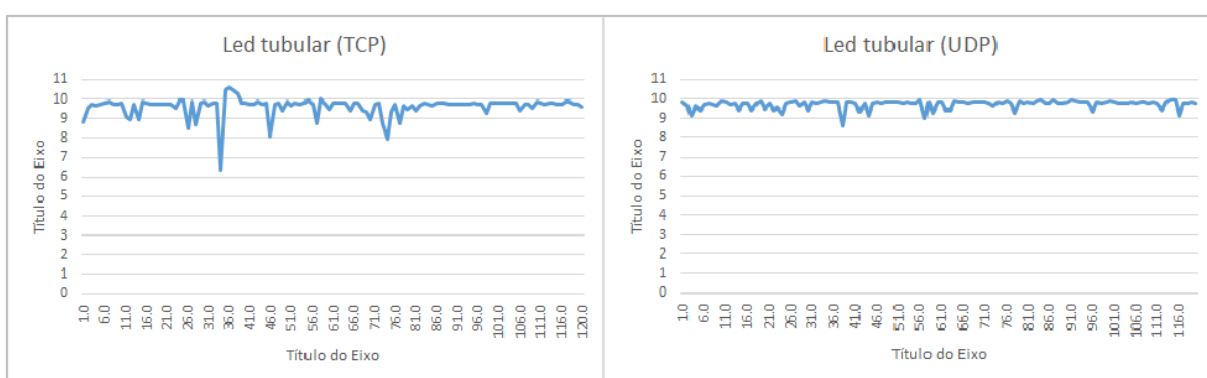


Figura 61 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede WI-FI – Led tubular.

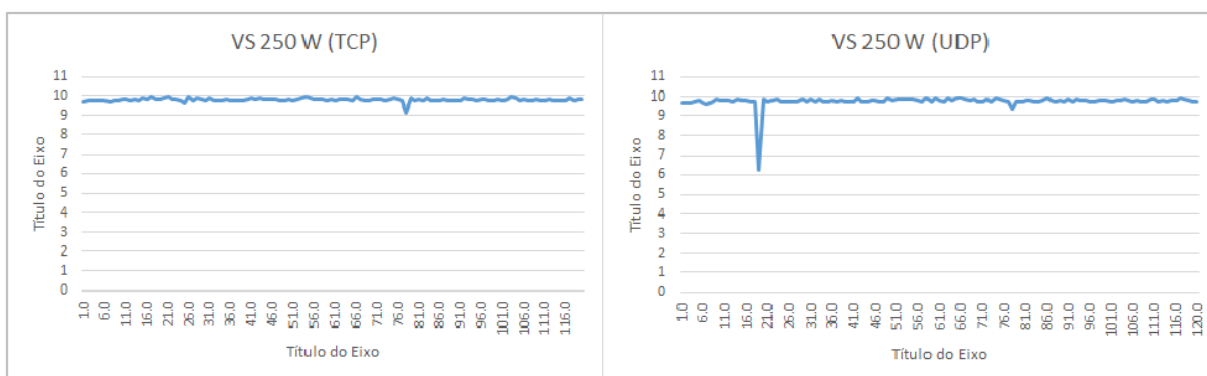


Figura 62 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede WI-FI – VS 250W.

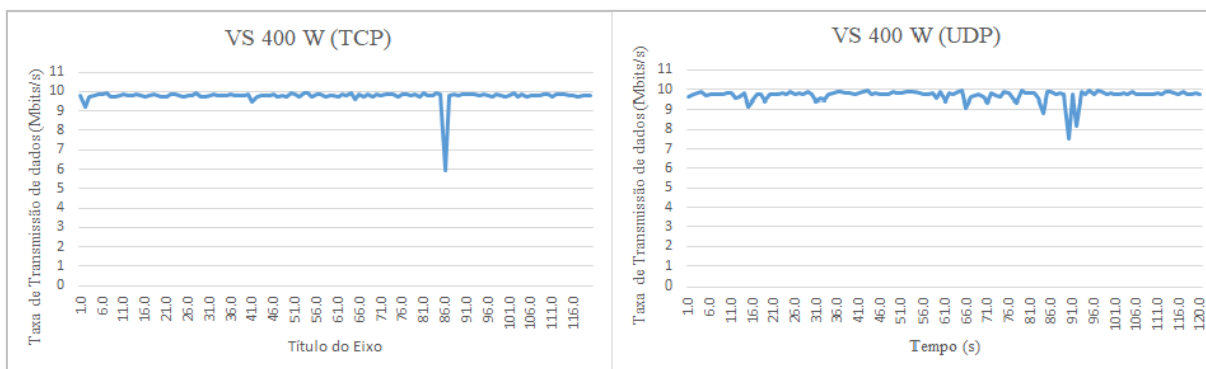


Figura 63 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede WI-FI – VS 400W.

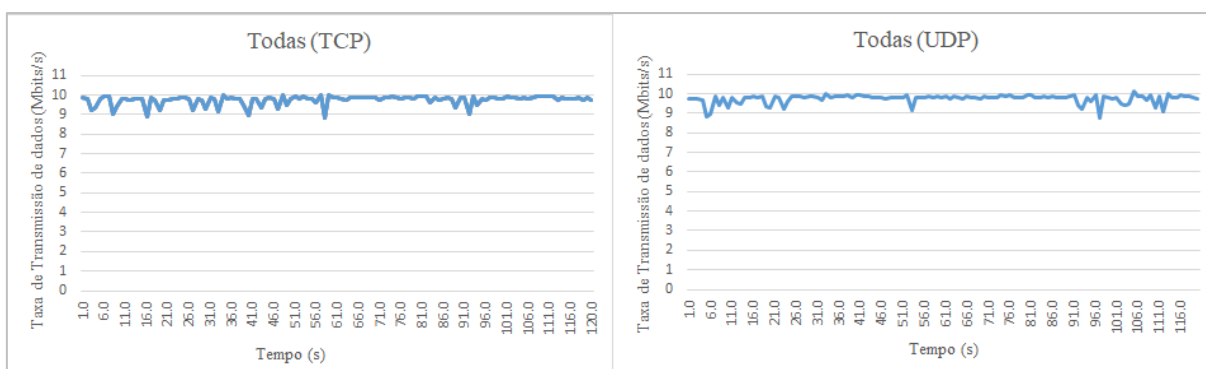


Figura 64 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede WI-FI – Todas as lâmpadas.

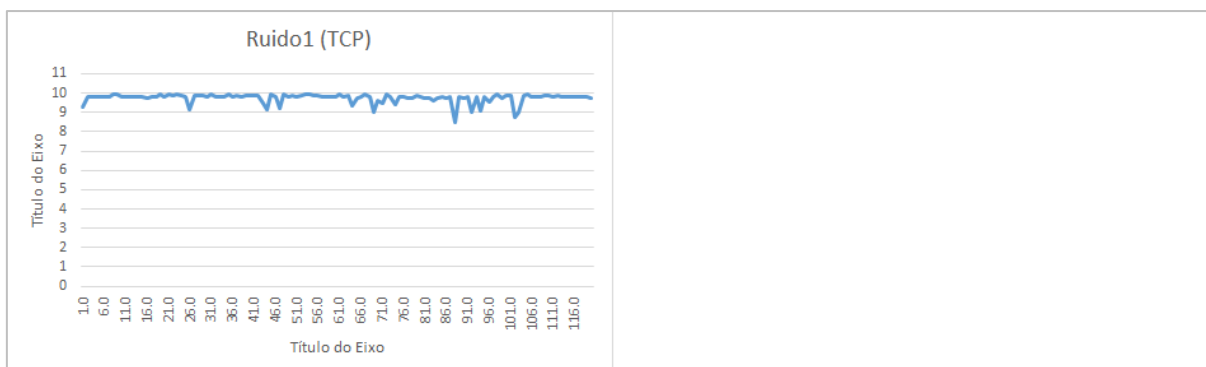


Figura 65 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede WI-FI – Ruído 1.

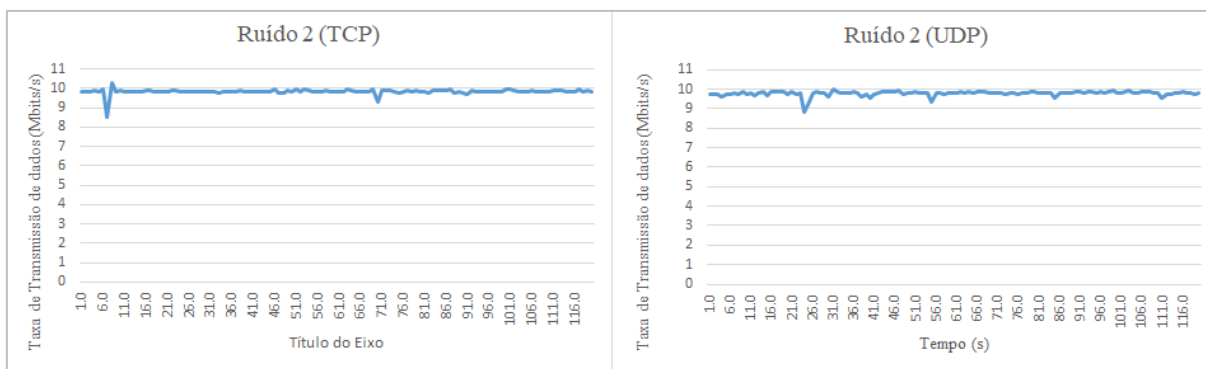


Figura 66 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede WI-FI – Ruído 2.

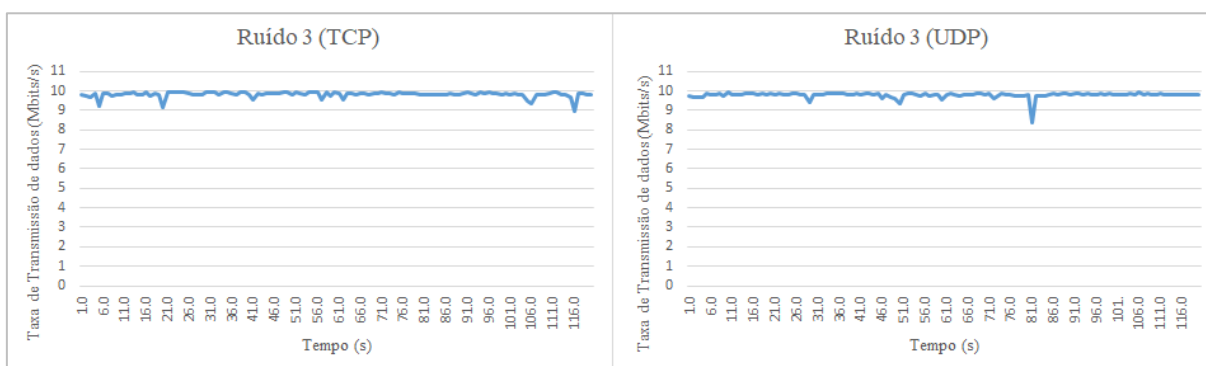


Figura 67 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede WI-FI – Ruído 3.

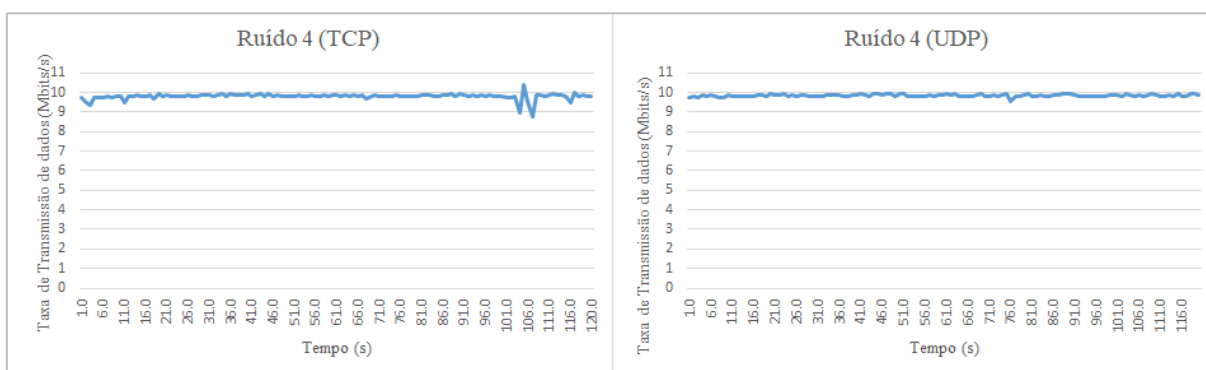


Figura 68 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede WI-FI – Ruído 4.

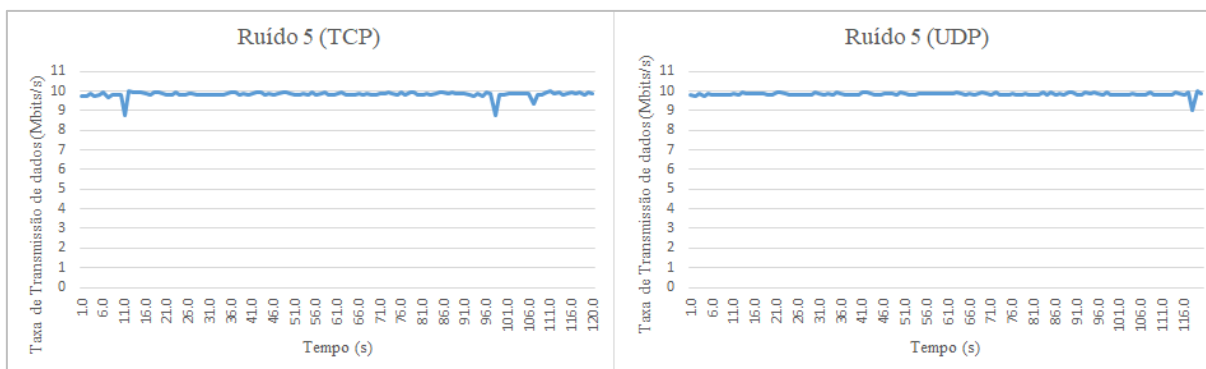


Figura 69 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede WI-FI – Ruído 5.

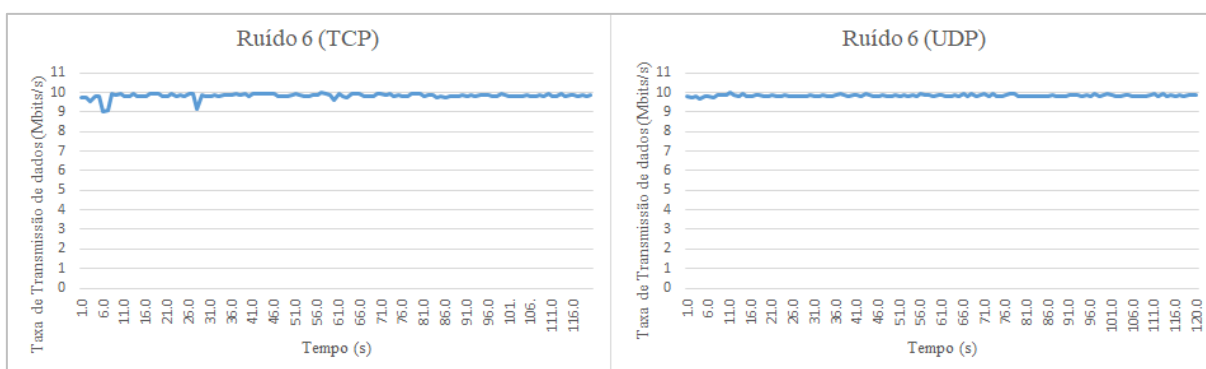


Figura 70 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede WI-FI – Ruído 6.

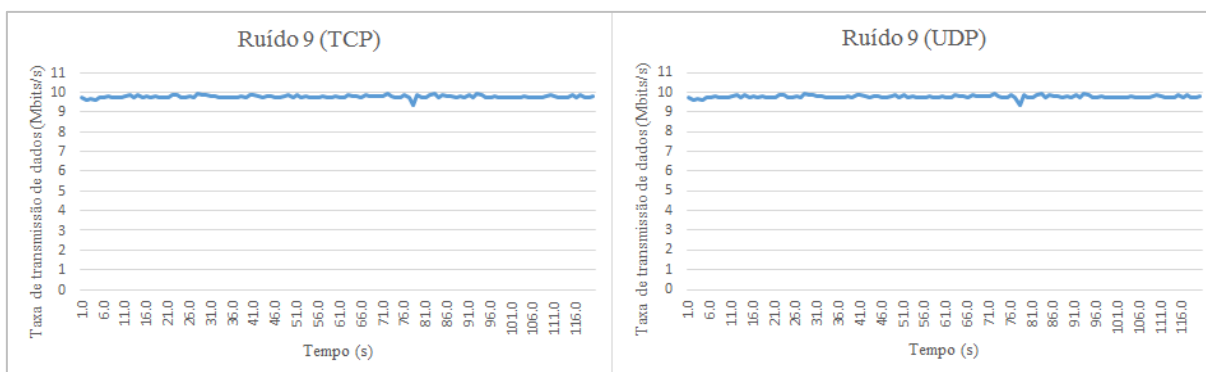


Figura 71 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede WI-FI – Ruído 9.

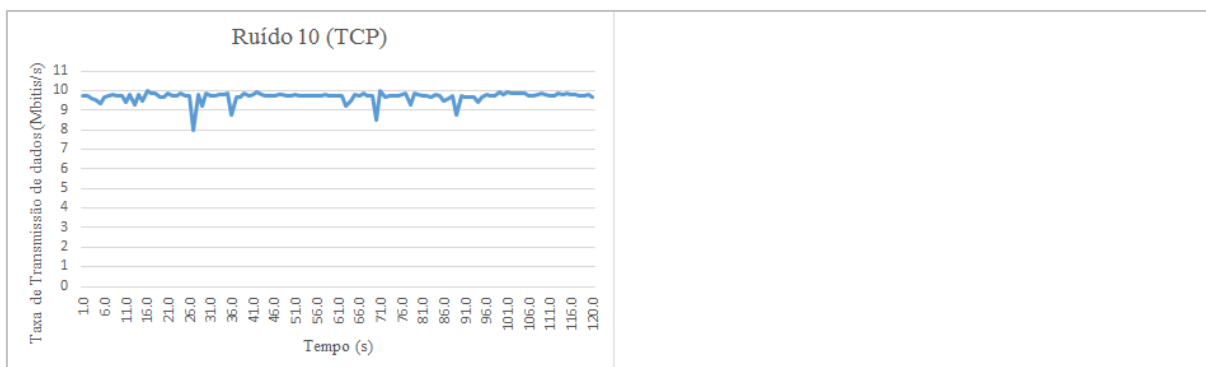


Figura 72 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede WI-FI – Ruído 10.

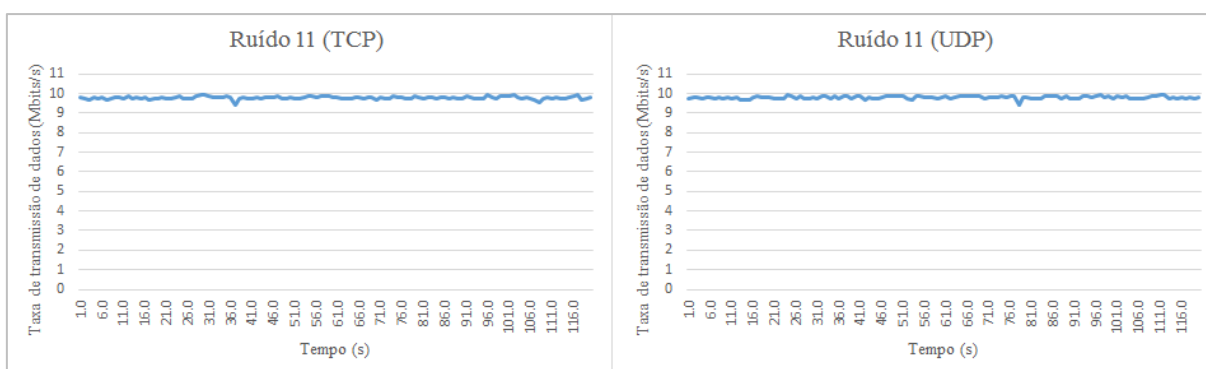


Figura 73 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede WI-FI – Ruído 11.

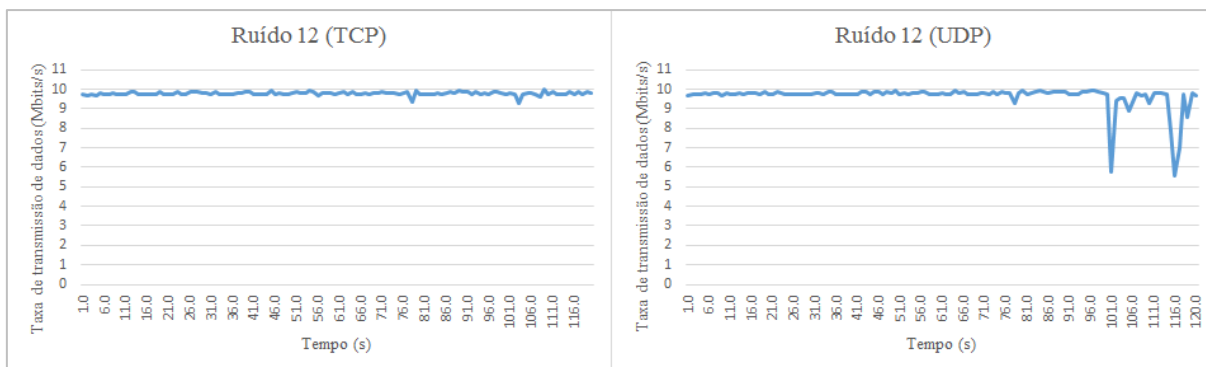


Figura 74 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede WI-FI – Ruído 12.



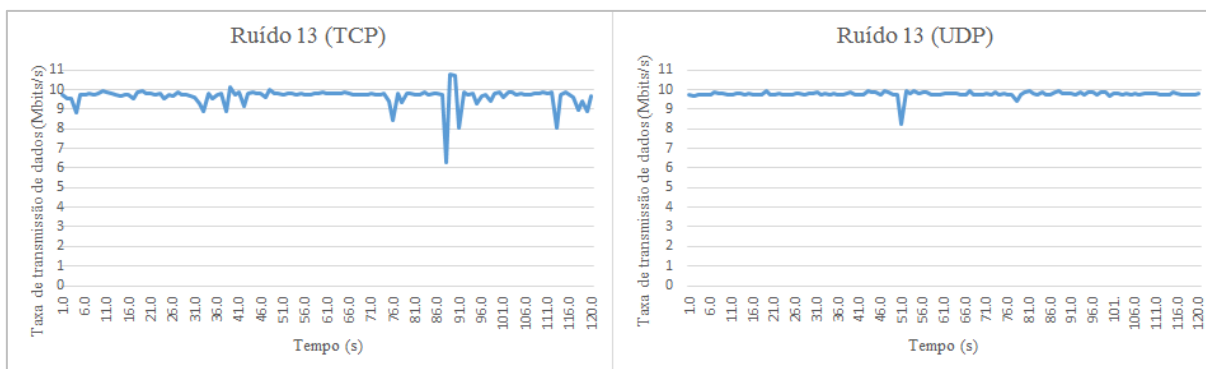


Figura 75 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede WI-FI – Ruído 13.

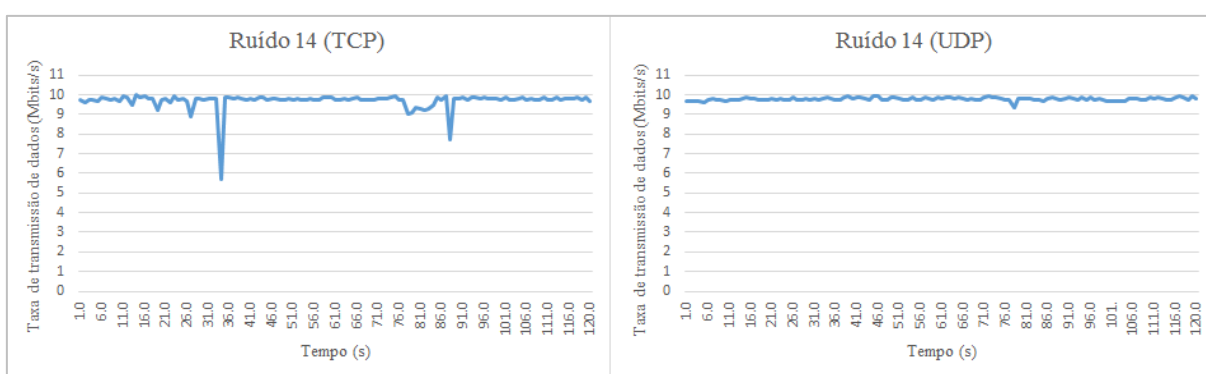


Figura 76 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede WI-FI – Ruído 14.

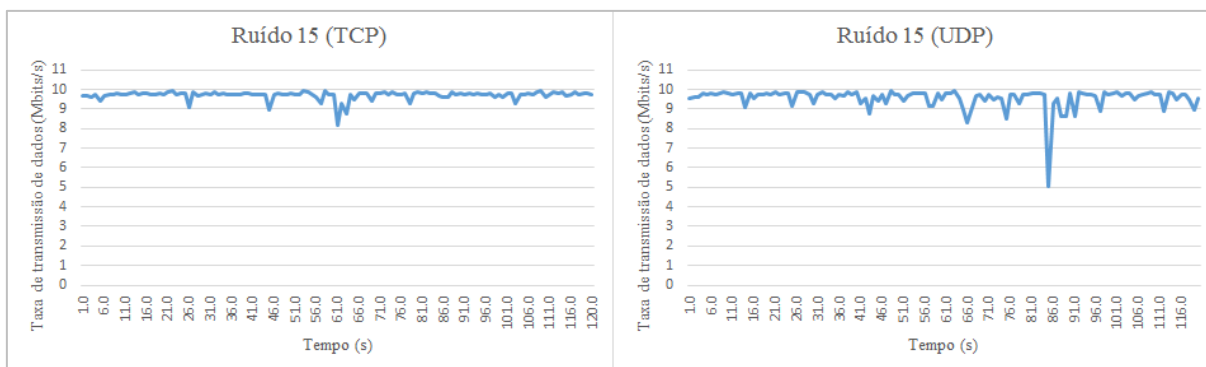


Figura 77 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede WI-FI – Ruído 15.

## Anexo B – Gráficos dos Ensaios Ethernet

### 100Mbits/s – Lâmpadas Ligadas

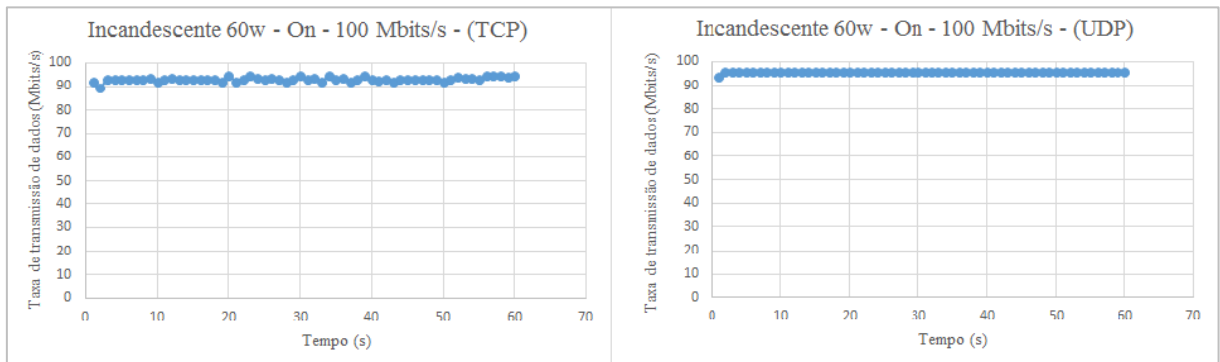


Figura 78 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet 100Mbits/s com a Lâmpada Ligada – Lâmpada Incandescente.

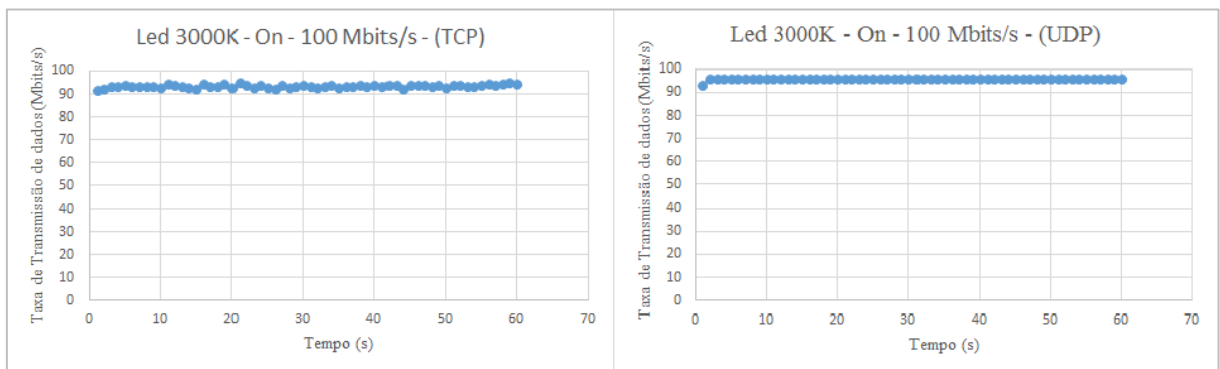


Figura 79 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet 100Mbits/s com a Lâmpada Ligada – Lâmpada LED 3000K.

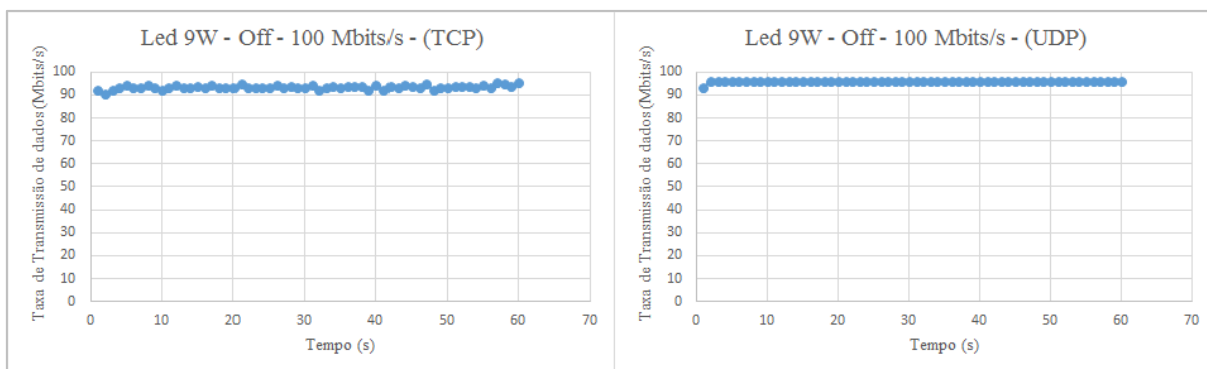


Figura 80 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet 100Mbits/s com a Lâmpada Ligada – Lâmpada LED 9W.

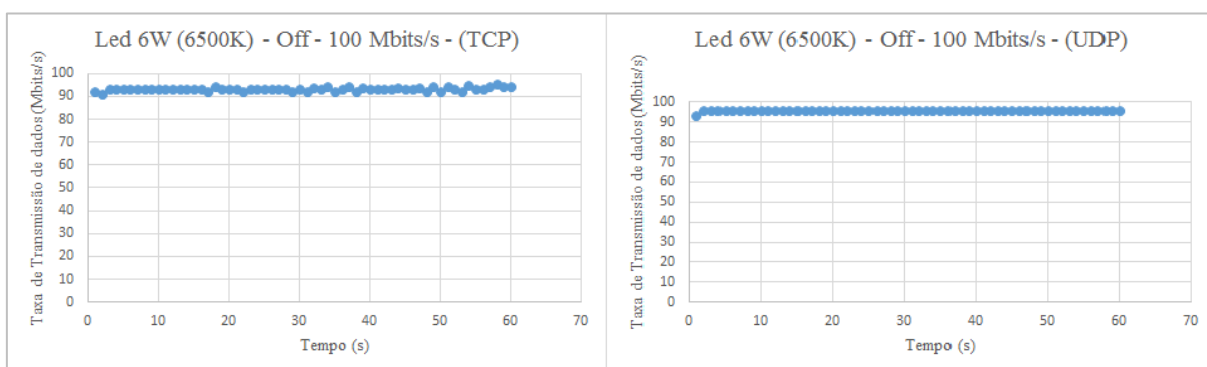


Figura 81 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet 100Mbits/s com a Lâmpada Ligada – Lâmpada LED 6W (6500K).

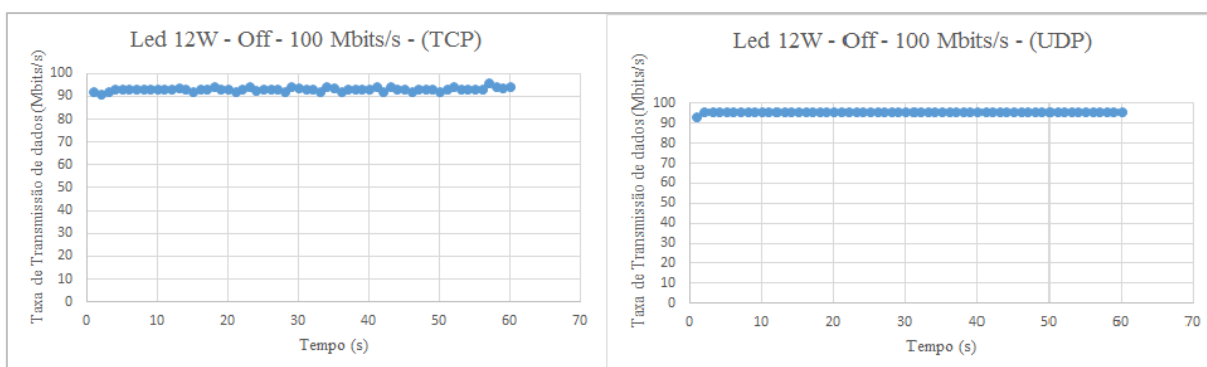


Figura 82 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet 100Mbits/s com a Lâmpada Ligada – Lâmpada LED 12W.

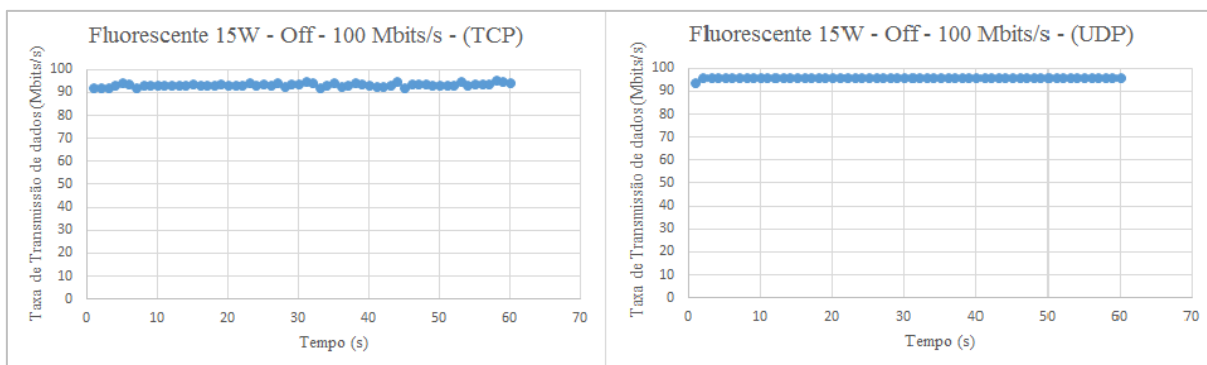


Figura 83 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet 100Mbits/s com a Lâmpada Ligada – Lâmpada LED 15W.

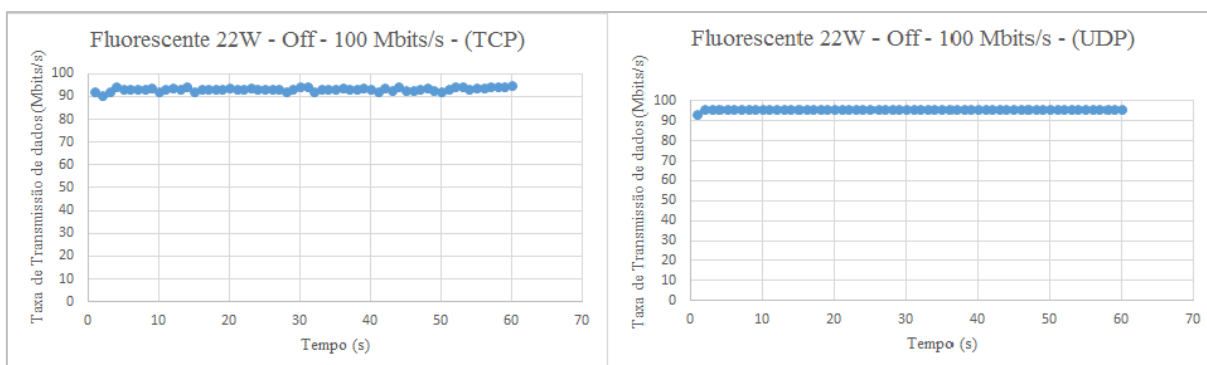


Figura 84 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet 100Mbits/s com a Lâmpada Ligada – Lâmpada LED 22W.

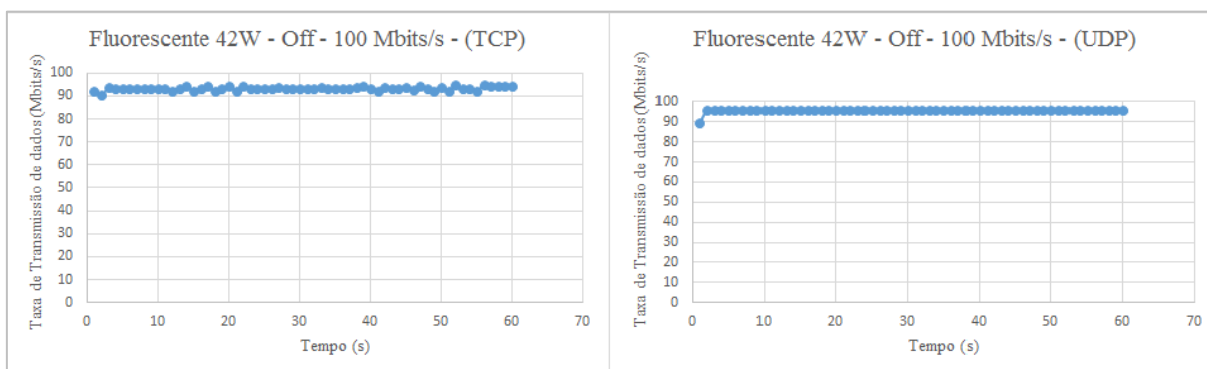


Figura 85 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet 100Mbits/s com a Lâmpada Ligada – Lâmpada LED 42W.

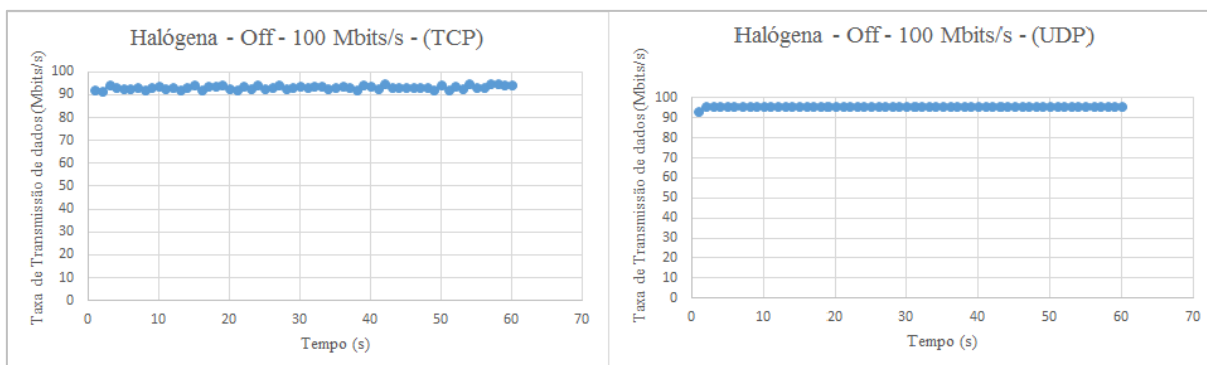


Figura 86 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet 100Mbits/s com a Lâmpada Ligada – Lâmpada Halógena.

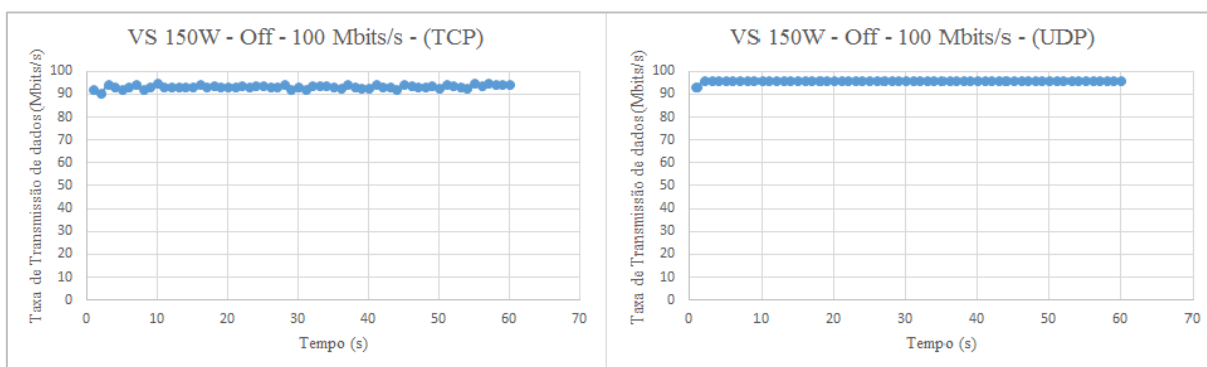


Figura 87 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet 100Mbits/s com a Lâmpada Ligada – Lâmpada VS 150W.

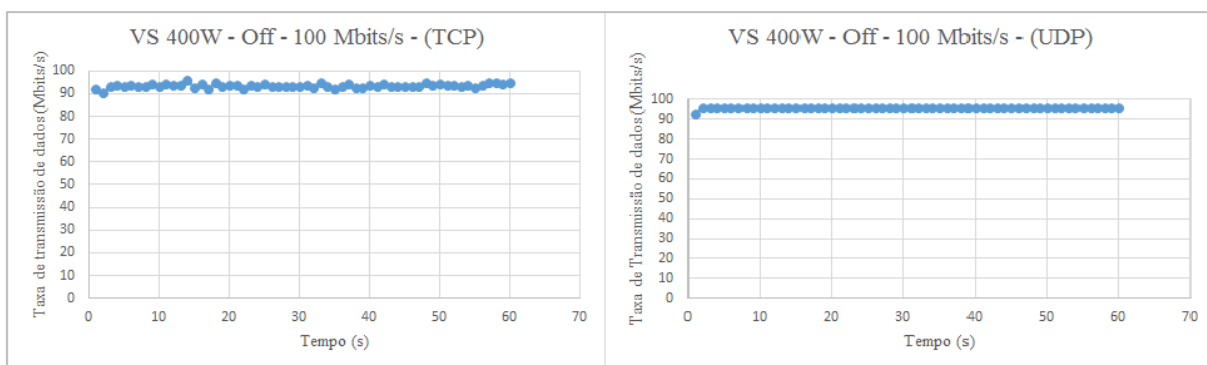


Figura 88 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet 100Mbits/s com a Lâmpada Ligada – Lâmpada VS 400W.

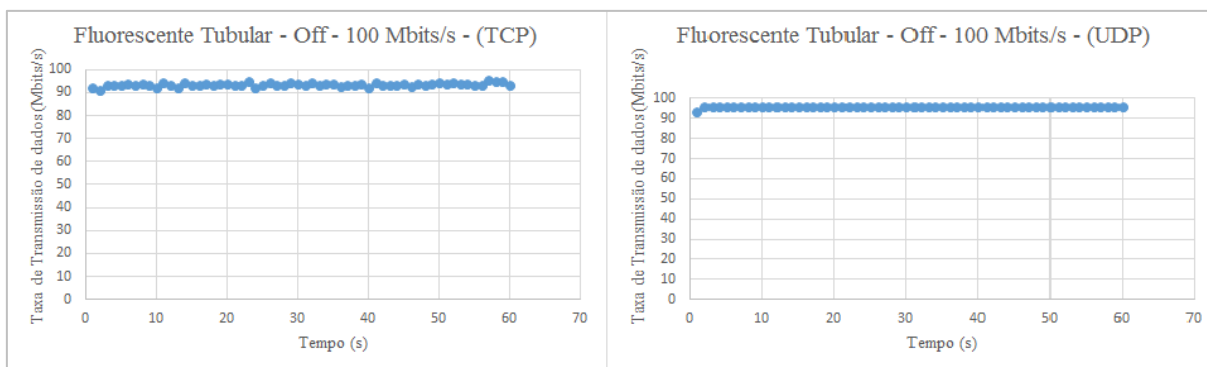


Figura 89 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet 100Mbits/s com a Lâmpada Ligada – Fluorescente Tubular.

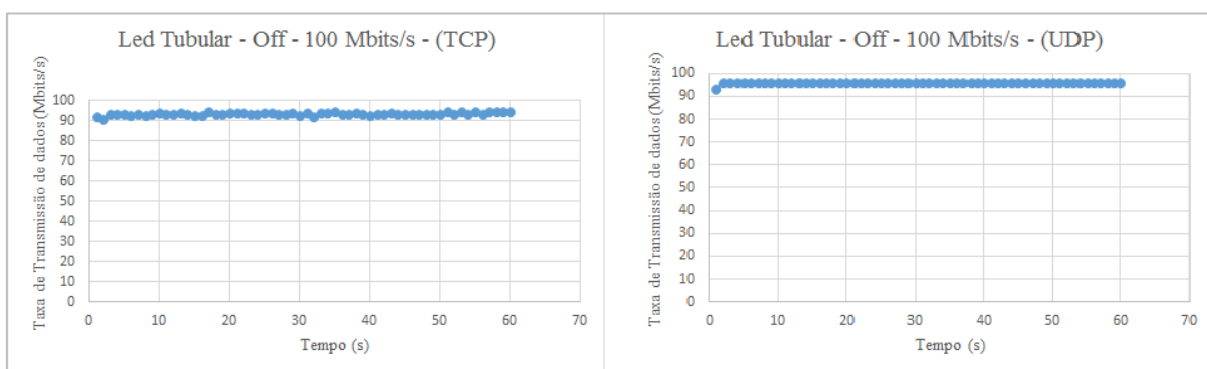


Figura 90 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet 100Mbits/s com a Lâmpada Ligada – LED Tubular.

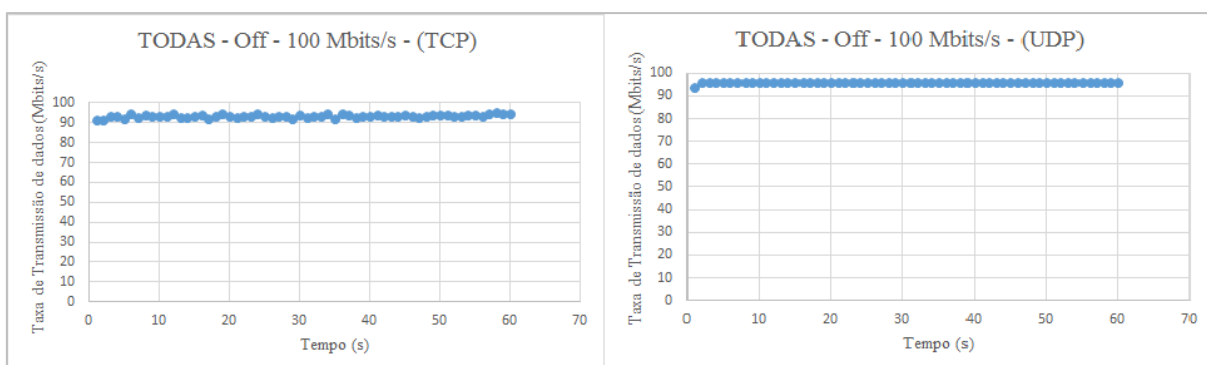


Figura 91 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet 100Mbits/s com a Lâmpada Ligada – Todas.

## Anexo C – Gráficos dos Ensaio Ethernet

### 100Mbps/s – Lâmpadas Desligadas

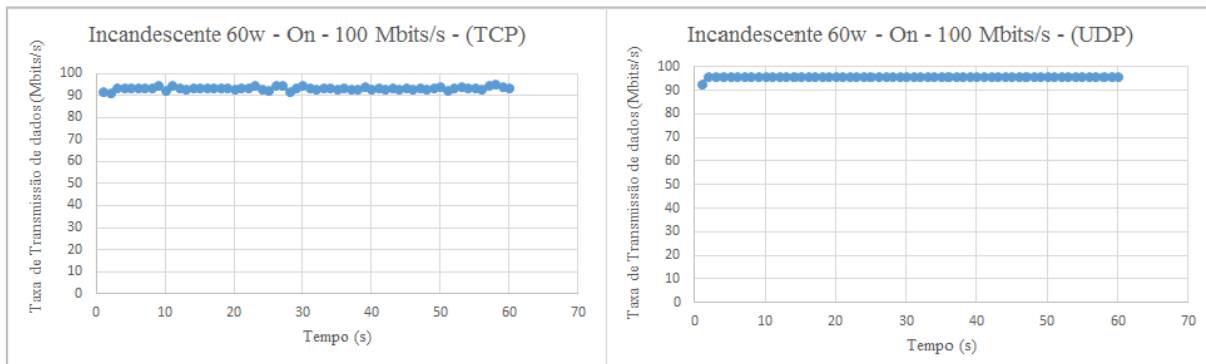


Figura 92 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet 100Mbps/s com a Lâmpada Desligada – Lâmpada Incandescente.

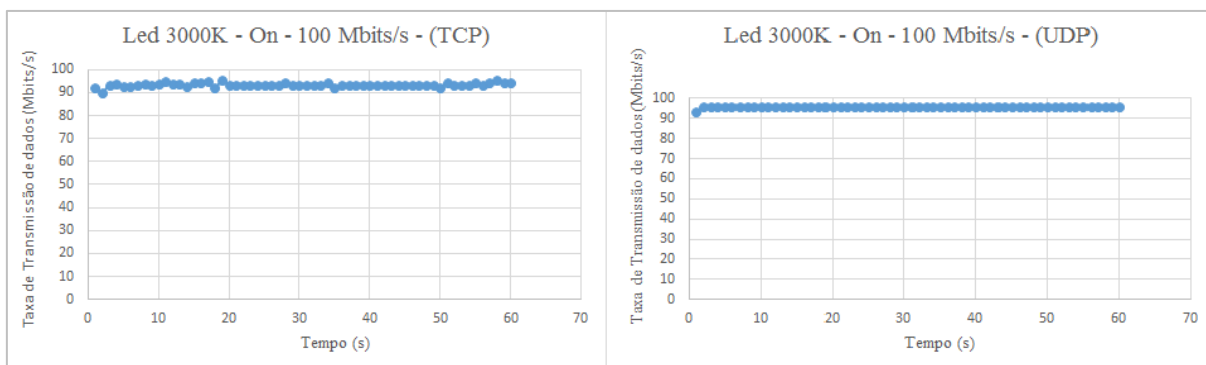


Figura 93 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet 100Mbps/s com a Lâmpada Desligada – Lâmpada LED 3000K.

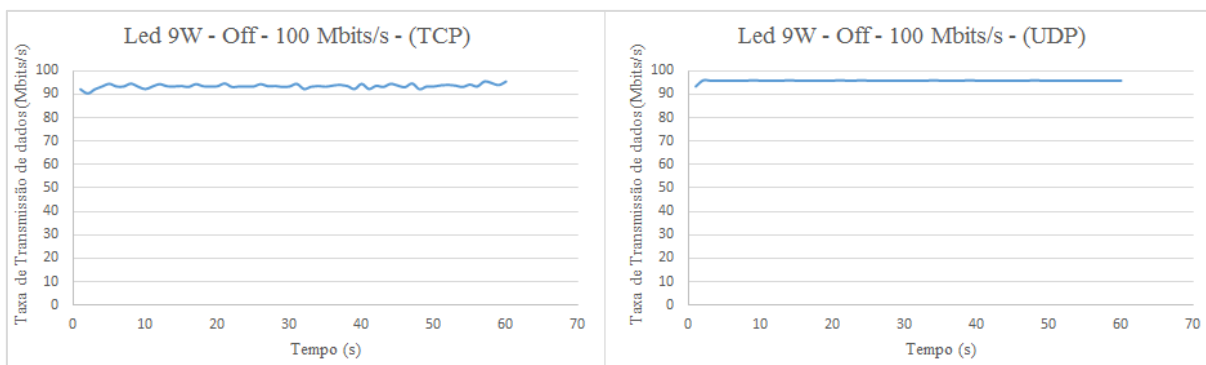


Figura 94 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet – 100Mbits/s com a Lâmpada Desligada – LED 9W.

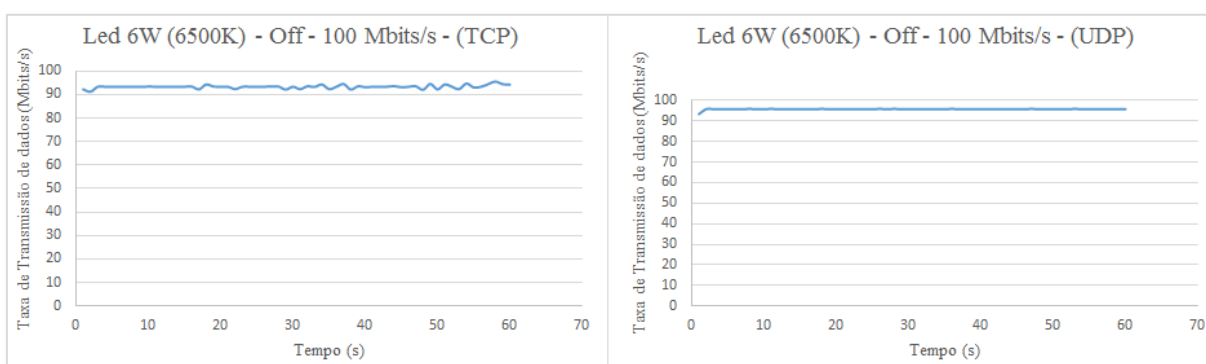


Figura 95 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet – 100Mbits/s com a Lâmpada Desligada – LED 6W.

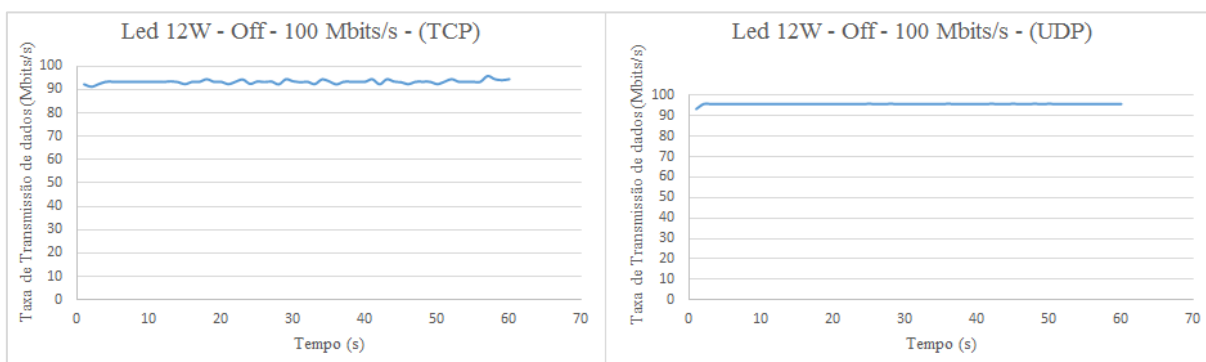


Figura 96 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet – 100Mbits/s com a Lâmpada Desligada – LED 12W.



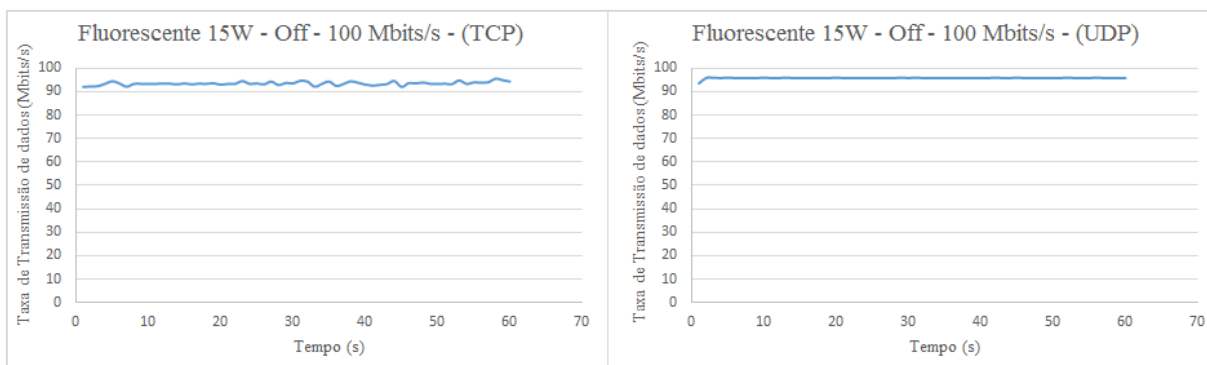


Figura 97 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet – 100Mbits/s com a Lâmpada Desligada – Fluorescente 15W.

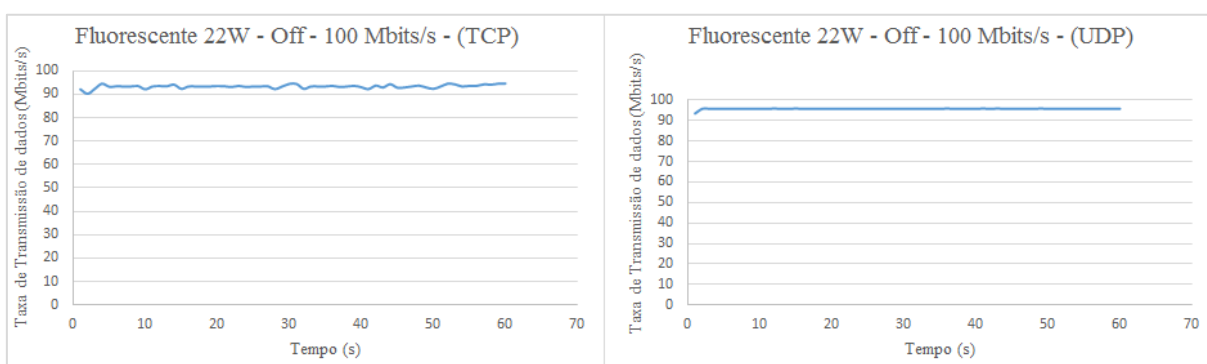


Figura 98 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet – 100Mbits/s com a Lâmpada Desligada – Fluorescente 22W.

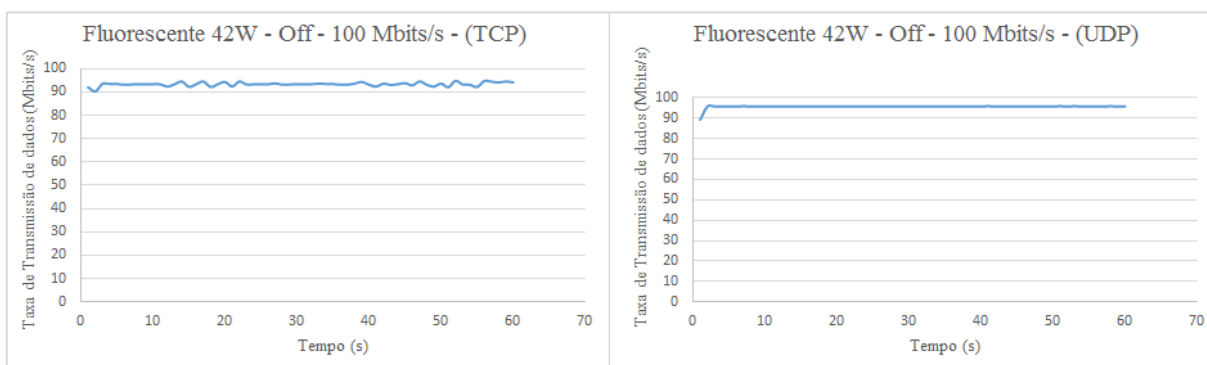


Figura 99 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet – 100Mbits/s com a Lâmpada Desligada – Fluorescente 42W.

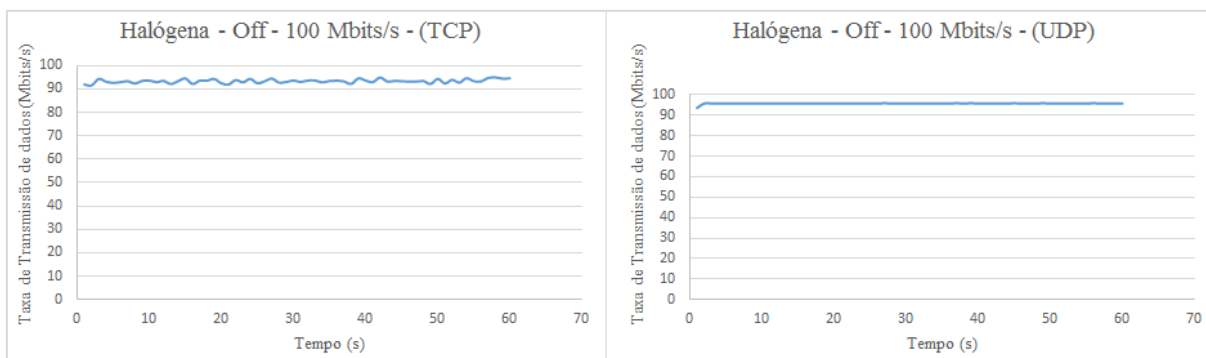


Figura 100 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet – 100Mbits/s com a Lâmpada Desligada – Halógena.

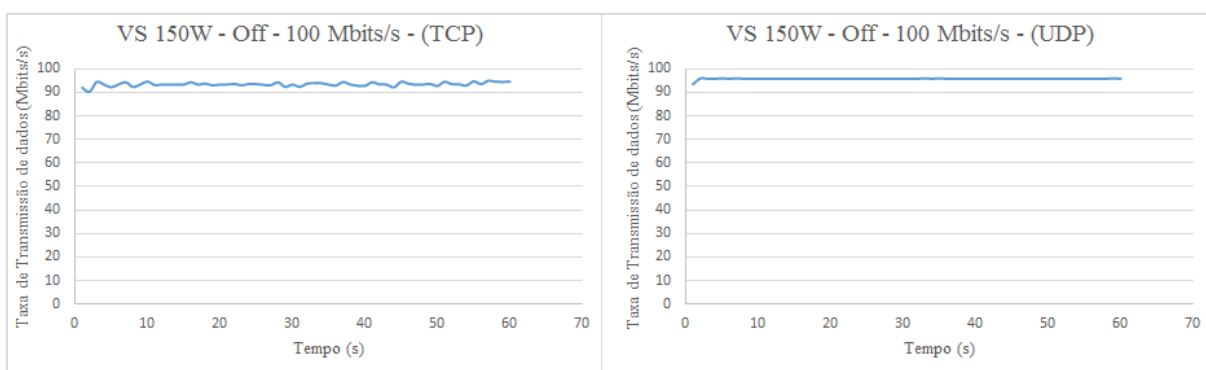


Figura 101 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet – 100Mbits/s com a Lâmpada Desligada – VS 150W.

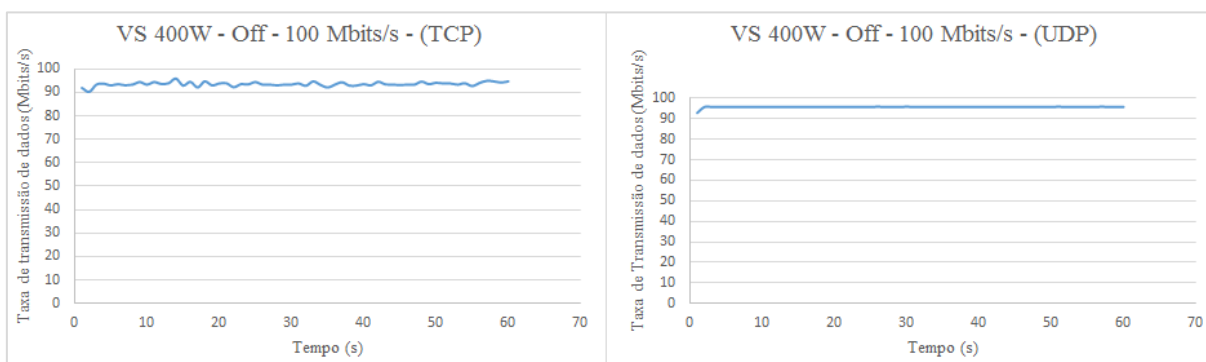


Figura 102 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet – 100Mbits/s com a Lâmpada Desligada – VS 400W.

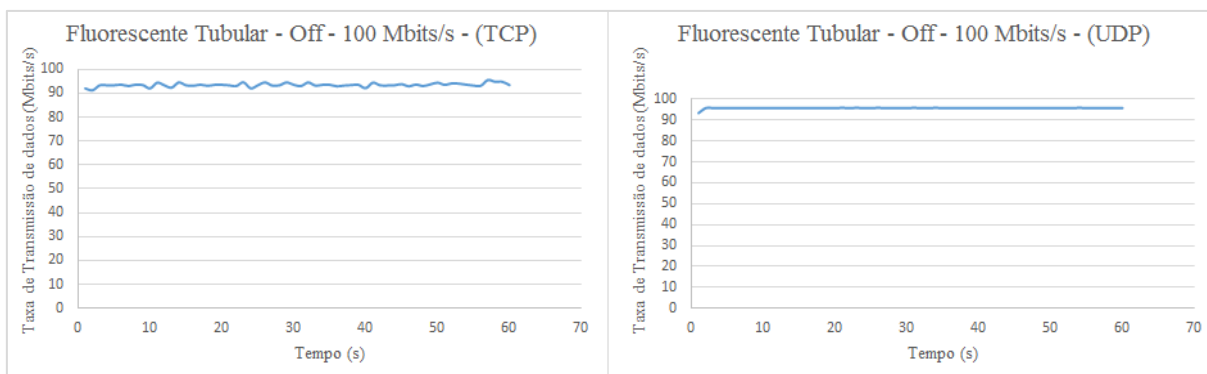


Figura 103 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet – 100Mbits/s com a Lâmpada Desligada – Fluorescente Tubular.

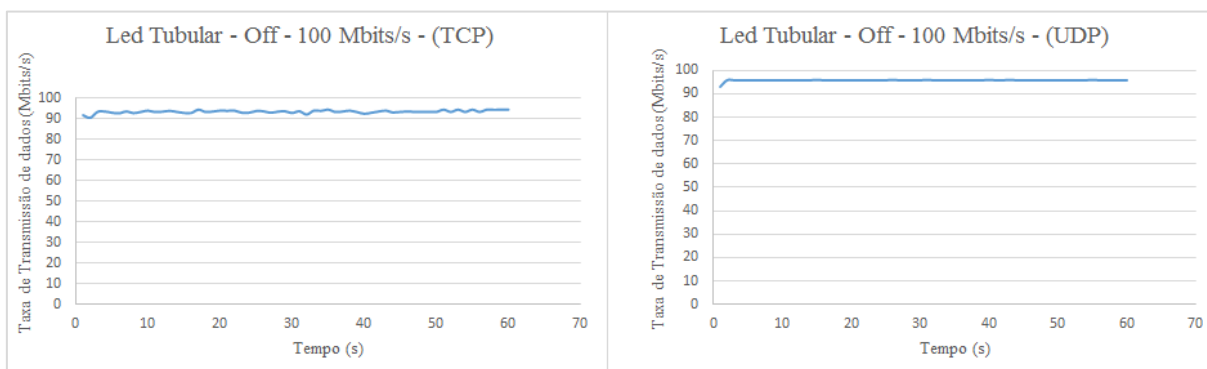


Figura 104 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet – 100Mbits/s com a Lâmpada Desligada – LED Tubular.

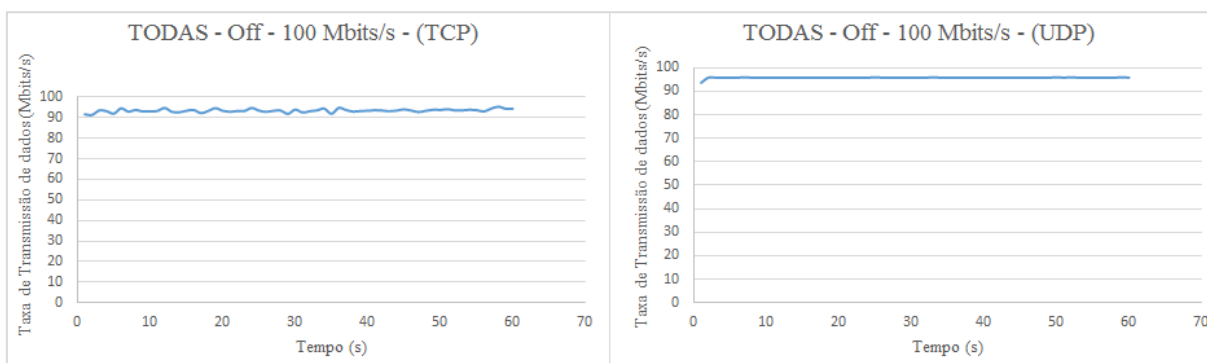


Figura 105 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet – 100Mbits/s com a Lâmpada Desligada – Todas.

## Anexo D – Gráficos dos Ensaios Ethernet 1Gbits/s – Lâmpadas Ligadas

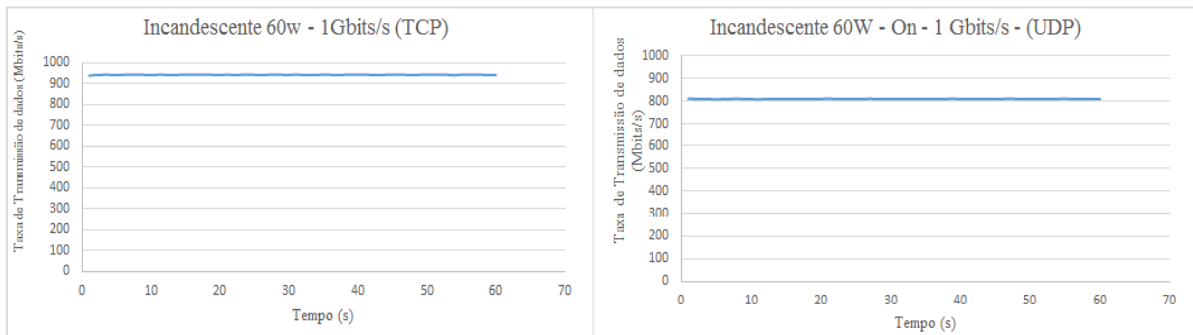


Figura 106 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet – 1Gbits/s com a Lâmpada Ligada – Incandescente.

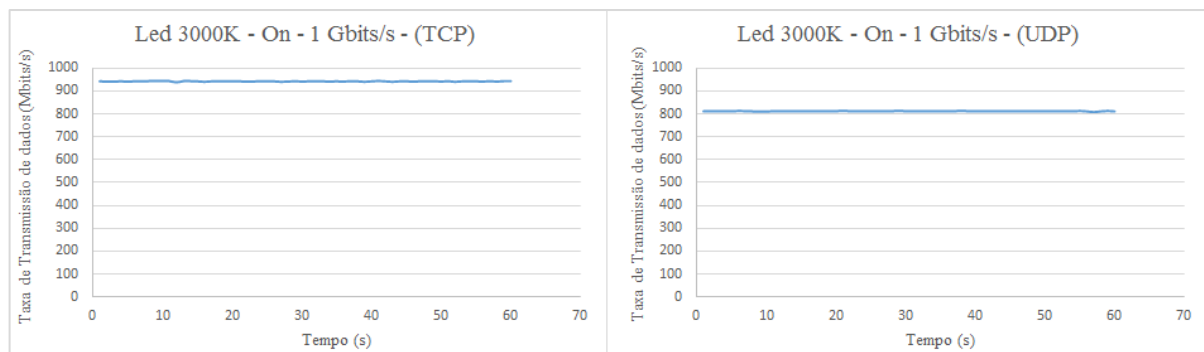


Figura 107 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet – 1Gbits/s com a Lâmpada Ligada – LED 3000K.

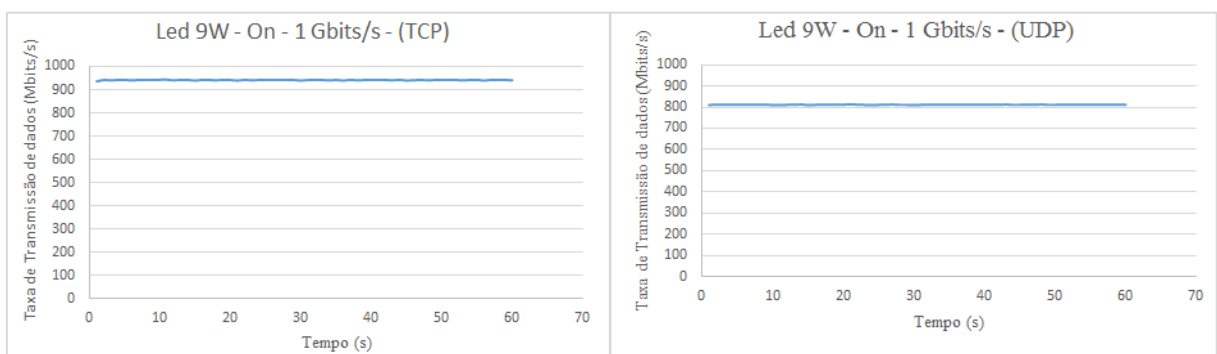


Figura 108 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet – 1Gbits/s com a Lâmpada Ligada – LED 9W.

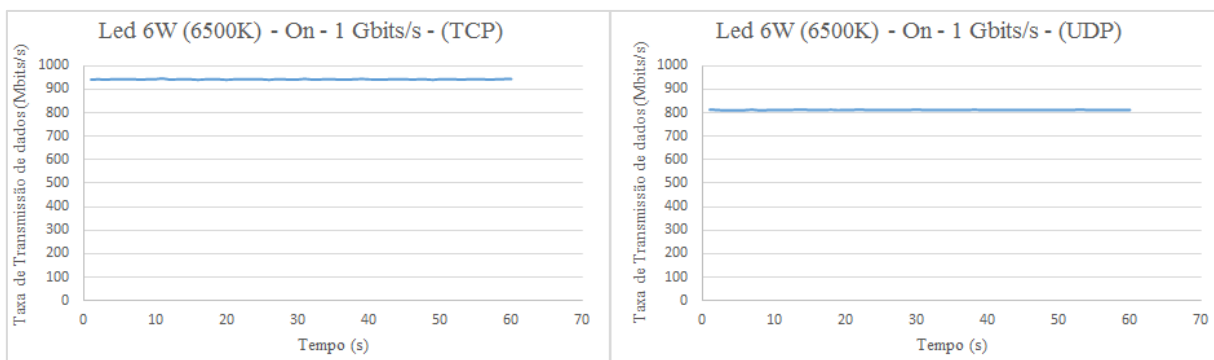


Figura 109 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet – 1Gbits/s com a Lâmpada Ligada – LED 6W (6500K).

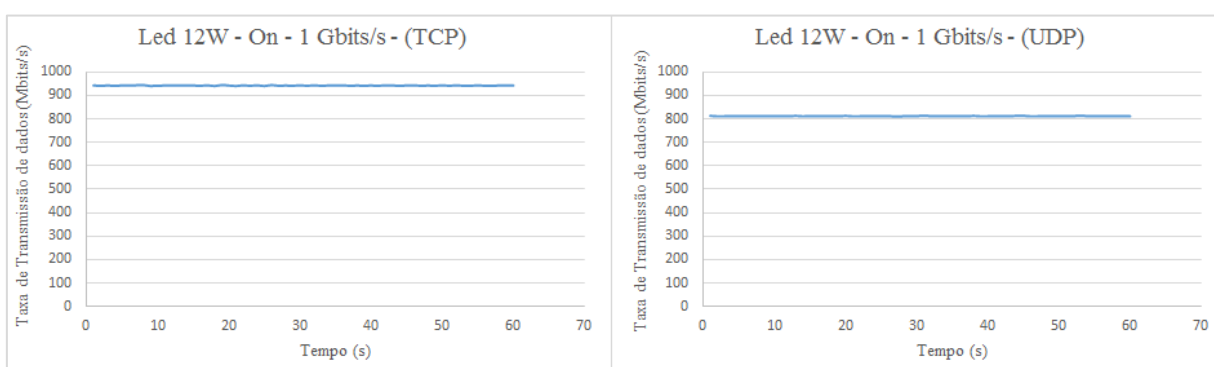


Figura 110 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet – 1Gbits/s com a Lâmpada Ligada – LED 12W.

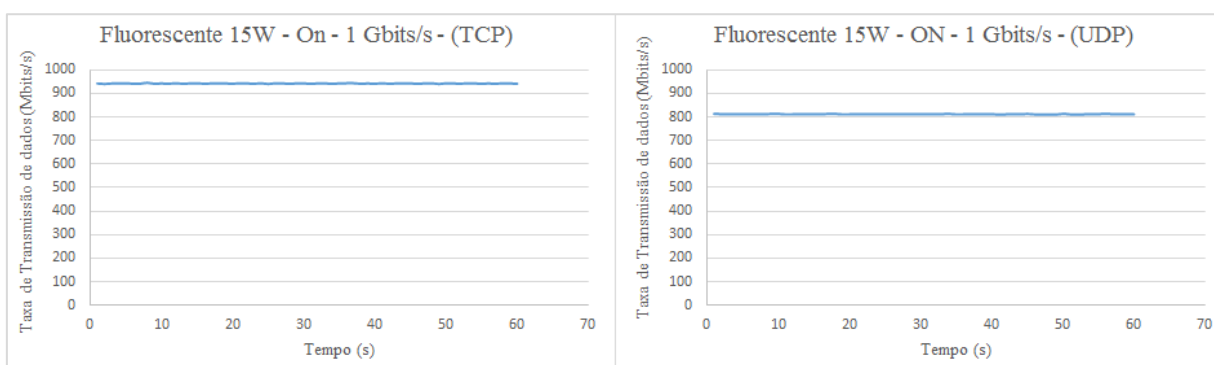


Figura 111 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet – 1Gbits/s com a Lâmpada Ligada – Fluorescente 15W.

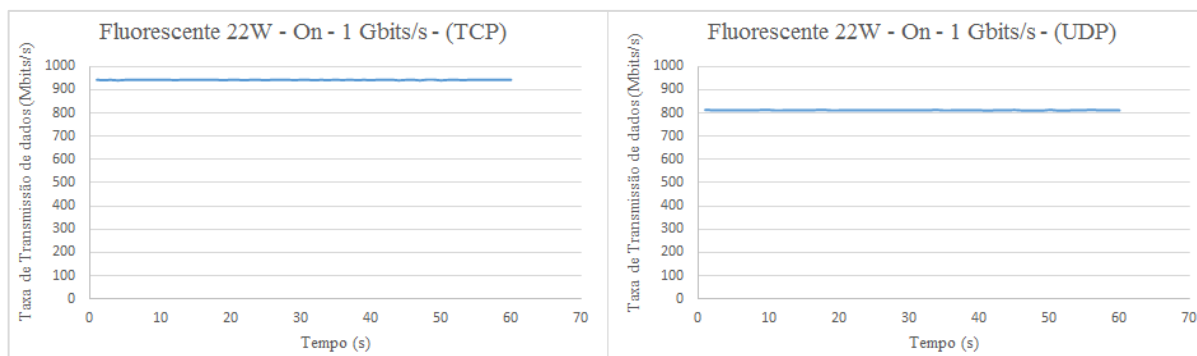


Figura 112 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet – 1Gbits/s com a Lâmpada Ligada – Fluorescente 22W.

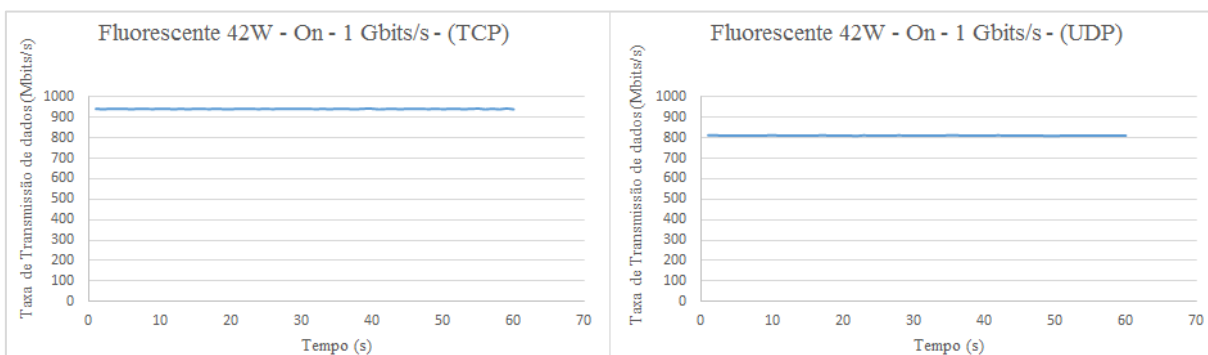


Figura 113 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet – 1Gbits/s com a Lâmpada Ligada –Fluorescente 42W.

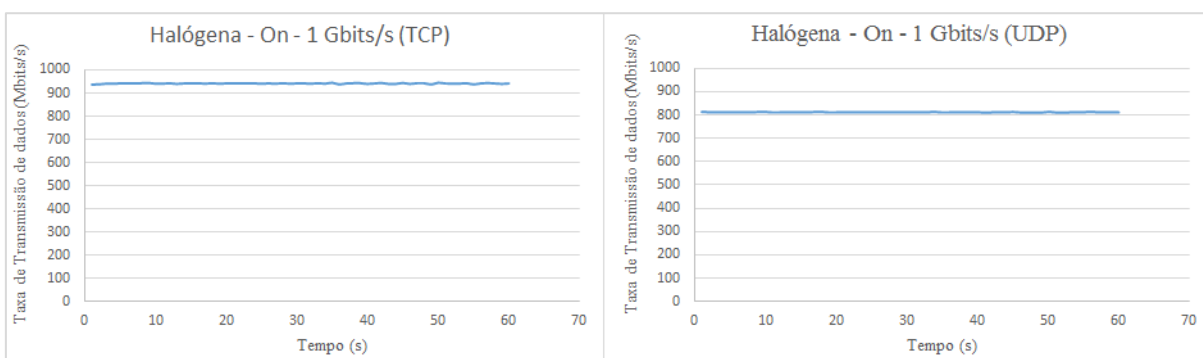


Figura 114 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet – 1Gbits/s com a Lâmpada Ligada –Halógena.

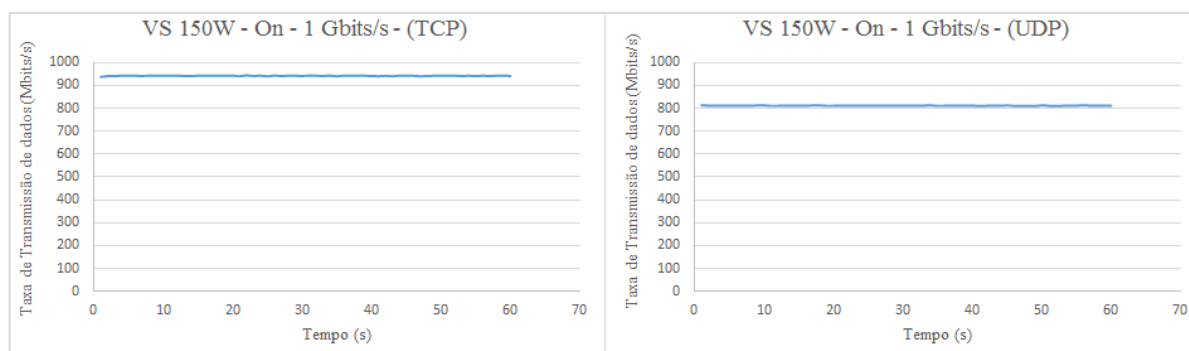


Figura 115 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet – 1Gbits/s com a Lâmpada Ligada – VS 150W.

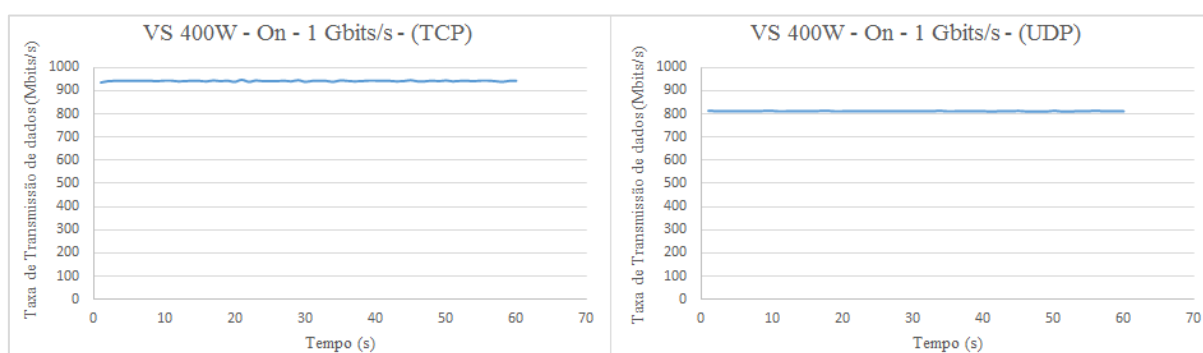


Figura 116 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet – 1Gbits/s com a Lâmpada Ligada –VS 400W.

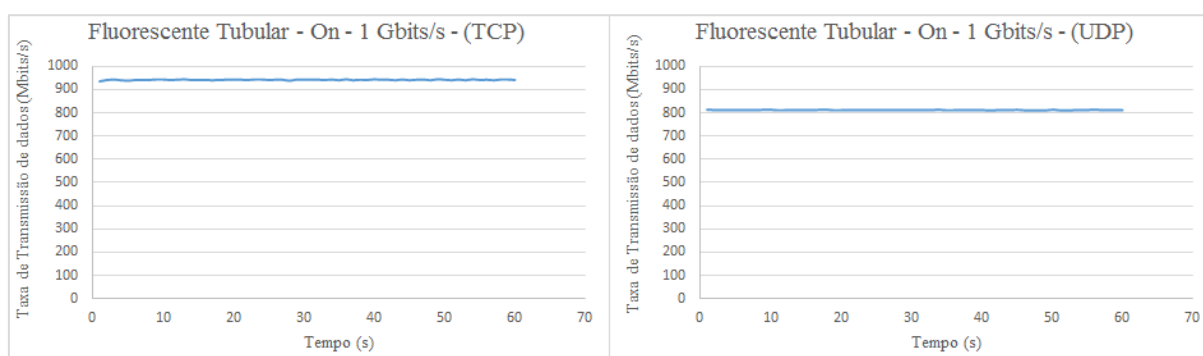


Figura 117 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet – 1Gbits/s com a Lâmpada Ligada – Fluorescente Tubular.

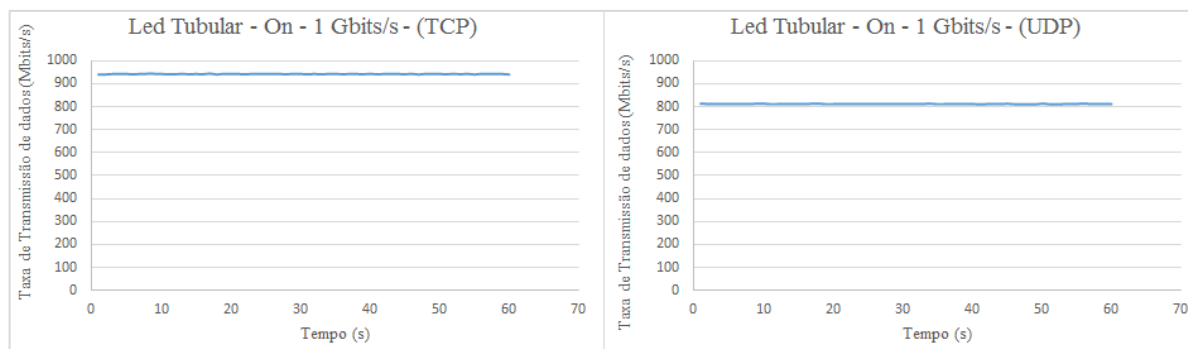


Figura 118 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet – 1Gbits/s com a Lâmpada Ligada – LED 6W (6500K).

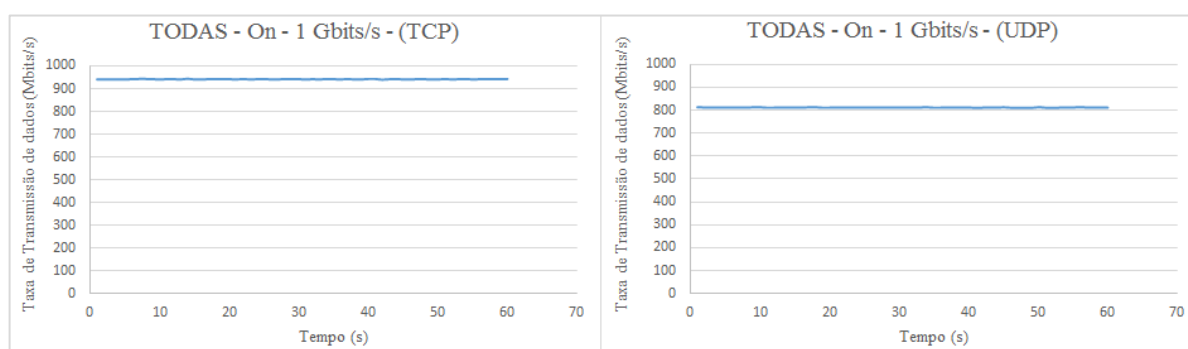


Figura 119 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet – 1Gbits/s com a Lâmpada Ligada – LED 6W (6500K).



## Anexo E – Gráficos dos Ensaio Ethernet 1Gbits/s – Lâmpadas Desligadas

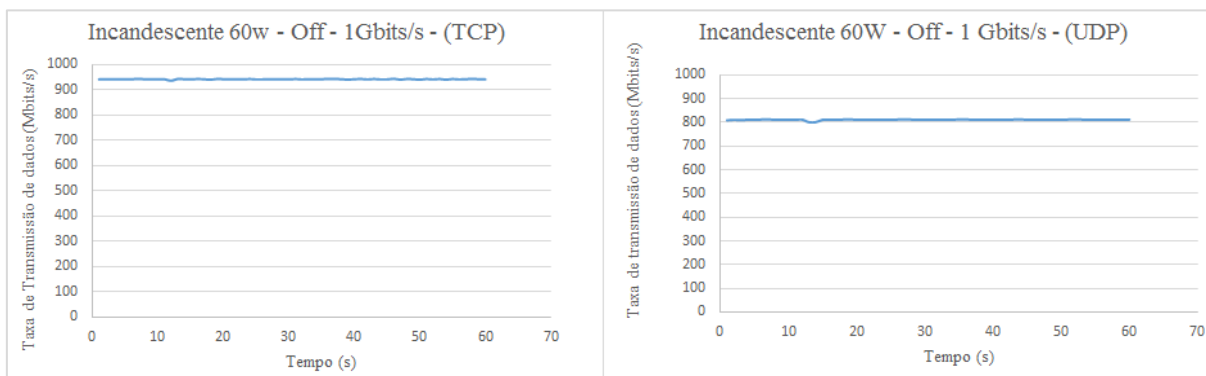


Figura 120 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet – 1Gbits/s com a Lâmpada Desligada – Incandescente.

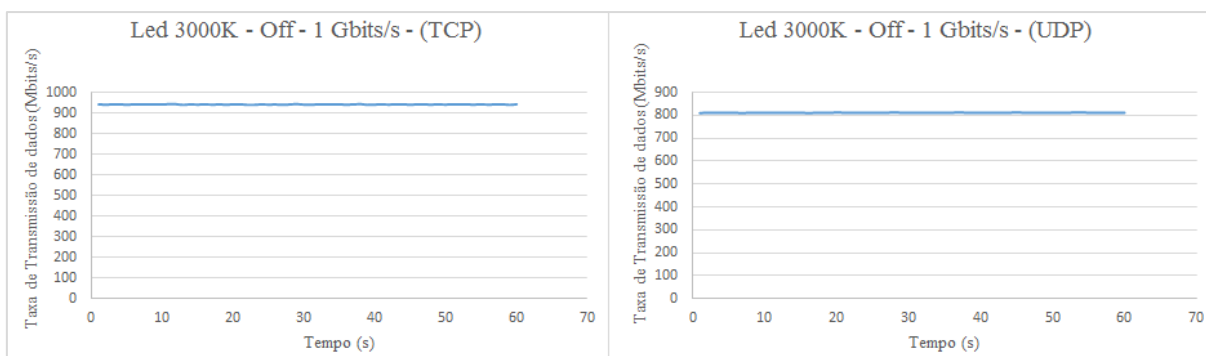


Figura 121 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet – 1Gbits/s com a Lâmpada Desligada – LED 3000K.

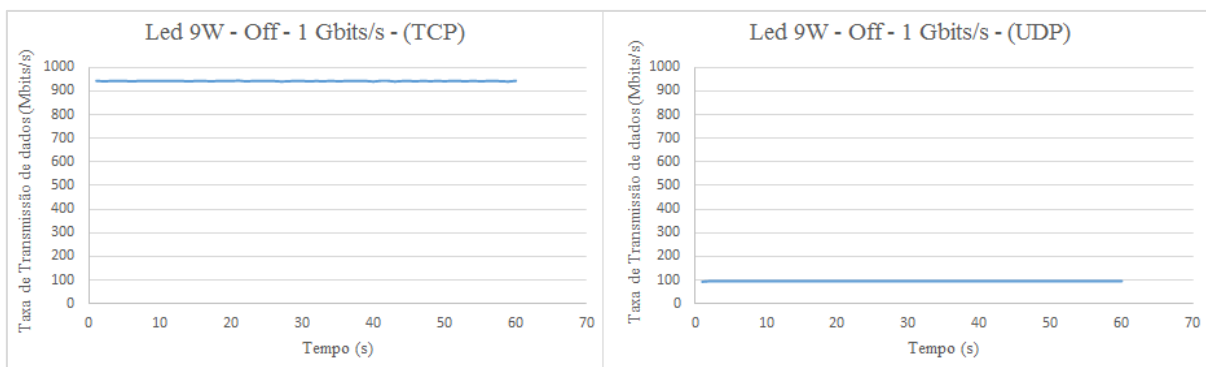


Figura 122 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet – 1Gbits/s com a Lâmpada Desligada – LED 9W.

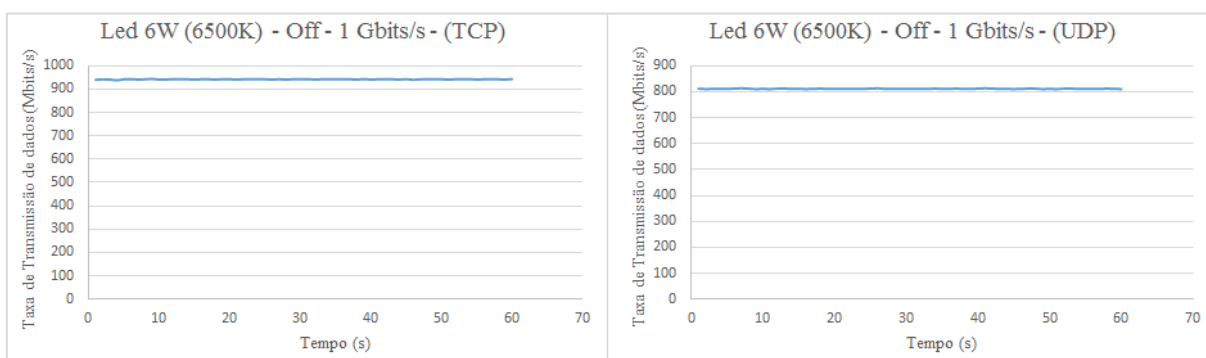


Figura 123 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet – 1Gbits/s com a Lâmpada Desligada – LED 6W.

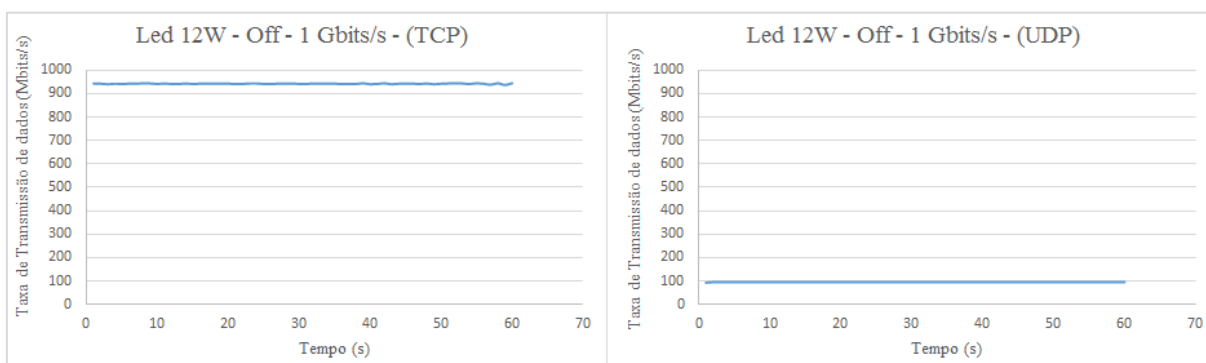


Figura 124 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet – 1Gbits/s com a Lâmpada Desligada – LED 12W.

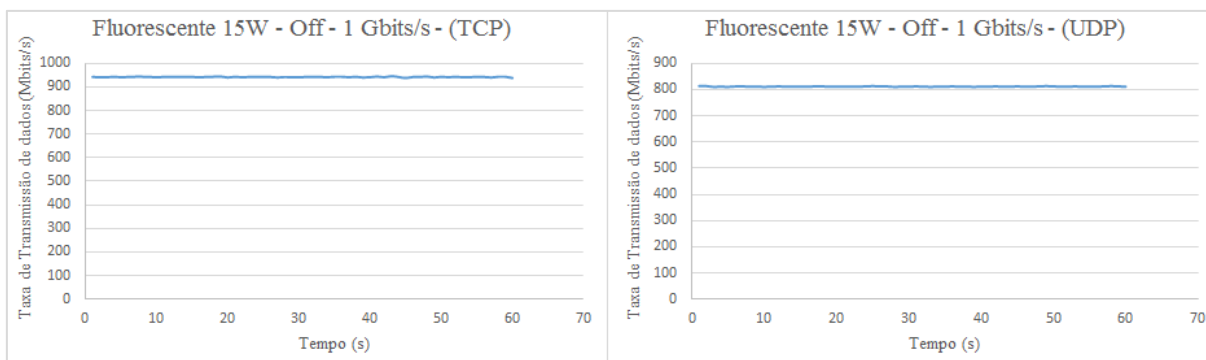


Figura 125 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet – 1Gbits/s com a Lâmpada Desligada – Fluorescente 15W.

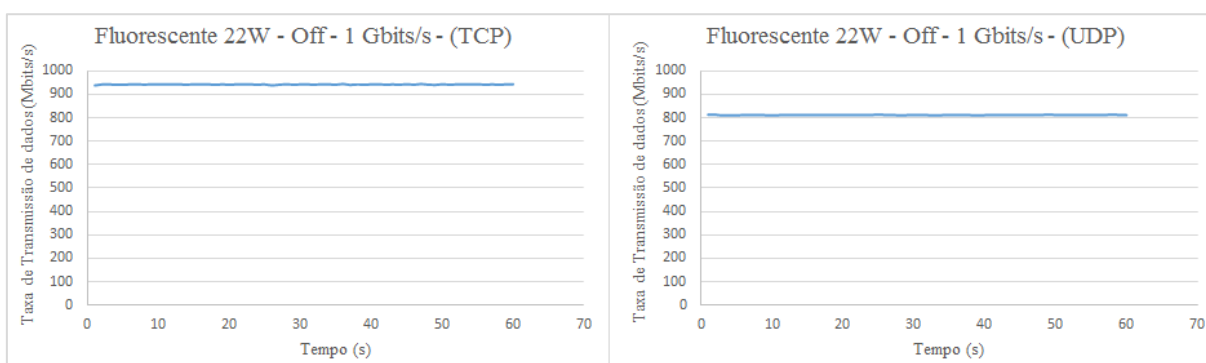


Figura 126 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet – 1Gbits/s com a Lâmpada Desligada – Fluorescente 22W.

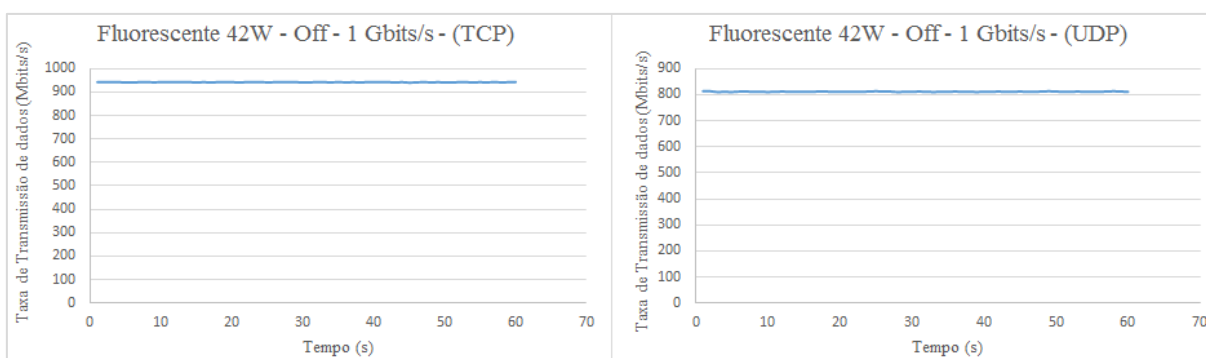


Figura 127 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet – 1Gbits/s com a Lâmpada Desligada – Fluorescente 42W.

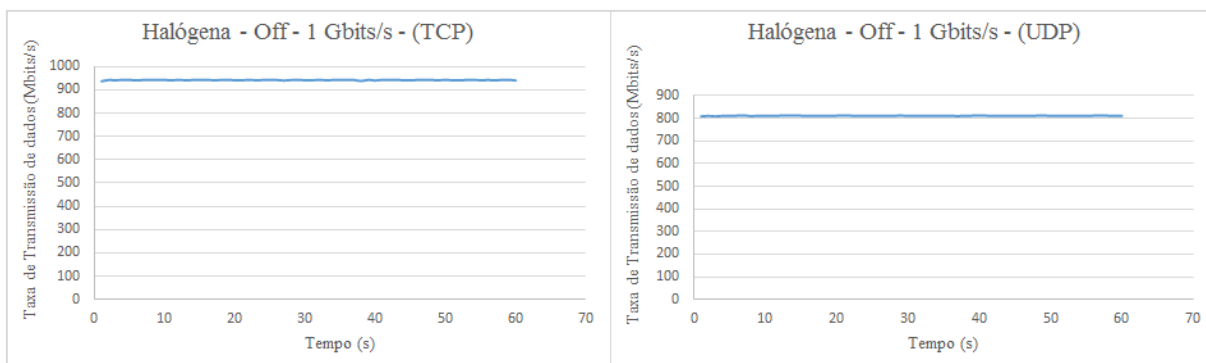


Figura 128 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet – 1Gbits/s com a Lâmpada Desligada – Halógena.

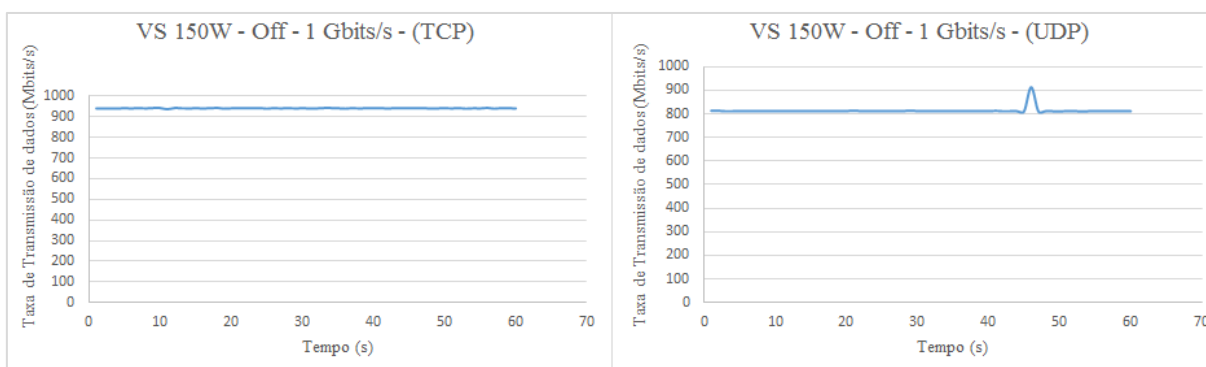


Figura 129 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet – 1Gbits/s com a Lâmpada Desligada – VS 150W.

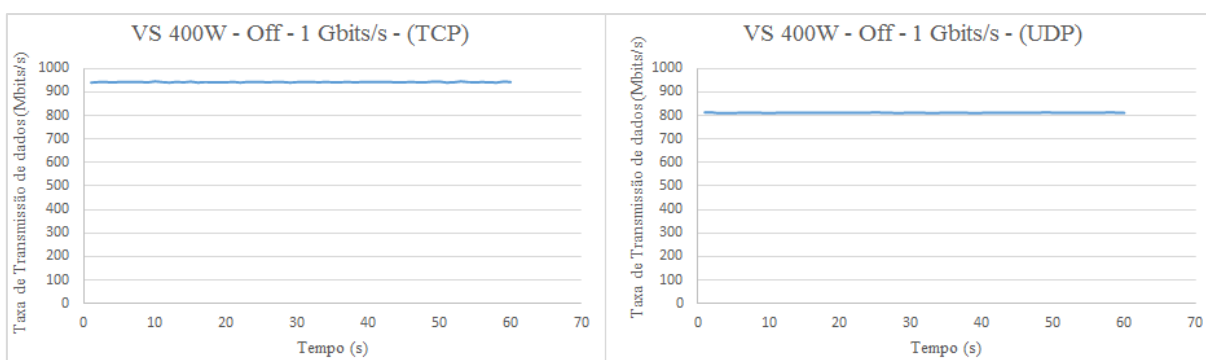


Figura 130 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet – 1Gbits/s com a Lâmpada Desligada – VS 400W.

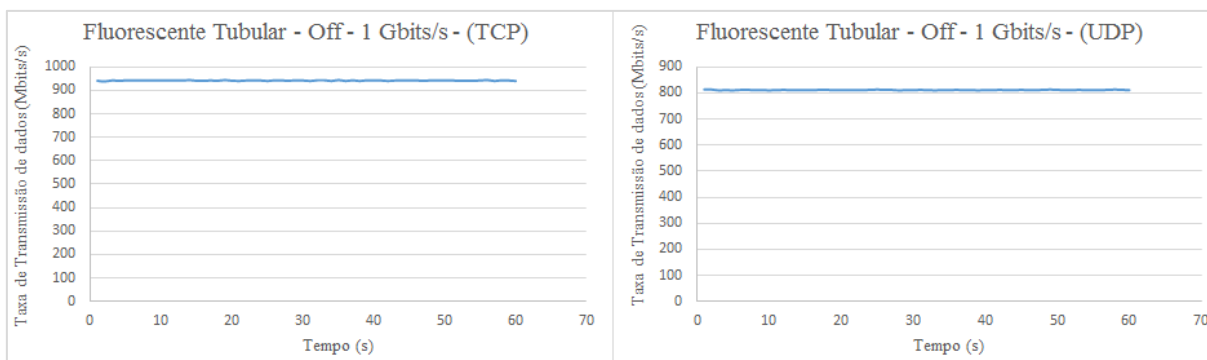


Figura 131 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet – 1Gbits/s com a Lâmpada Desligada – Fluorescente Tubular.

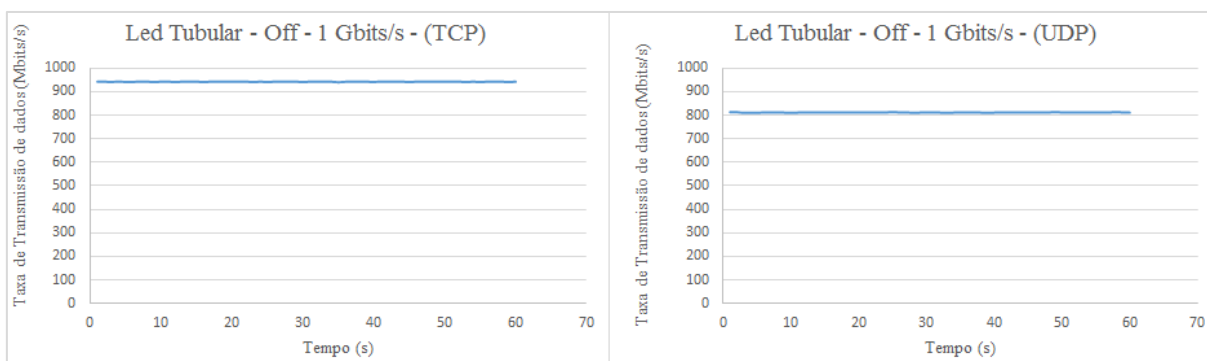


Figura 132 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet – 1Gbits/s com a Lâmpada Desligada – LED Tubular.

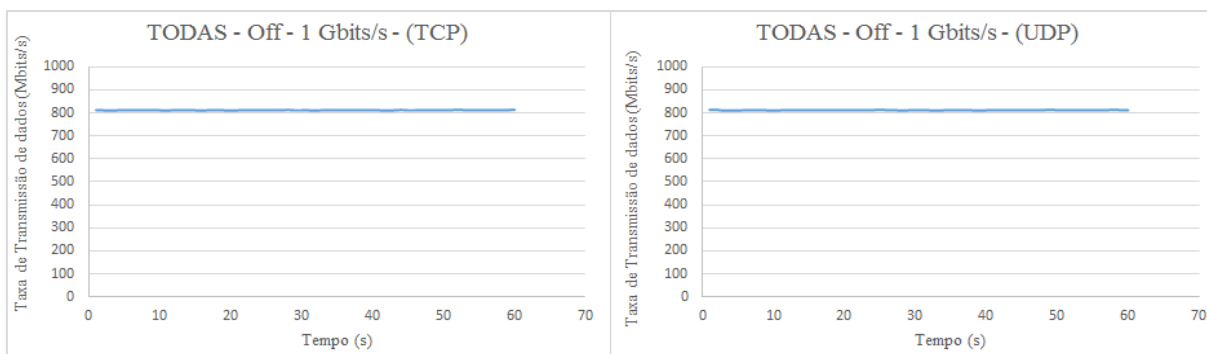


Figura 133 - Resultado do Ensaio de Interferência Eletromagnética na rede Ethernet – 1Gbits/s com a Lâmpada Desligada – Todas.

## Anexo F - Artigo Publicado



Journal of Electromagnetic Waves and Applications



ISSN: 0920-5071 (Print) 1569-3937 (Online) Journal homepage: <http://www.tandfonline.com/loi/tewa20>

### Evaluation of the impact of EMI on Ethernet networks from lighting technologies

Luana M. Silva, Ana Caroline T. de Carvalho, Júlia F. Araujo, Márcio Z. Fortes, Lorena B. Oliveira & Joacir O. Silva

To cite this article: Luana M. Silva, Ana Caroline T. de Carvalho, Júlia F. Araujo, Márcio Z. Fortes, Lorena B. Oliveira & Joacir O. Silva (2018): Evaluation of the impact of EMI on Ethernet networks from lighting technologies, Journal of Electromagnetic Waves and Applications, DOI: [10.1080/09205071.2018.1537135](https://doi.org/10.1080/09205071.2018.1537135)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/09205071.2018.1537135>



Published online: 22 Oct 2018.



Submit your article to this journal [↗](#)



Article views: 9



View Crossmark data [↗](#)

Full Terms & Conditions of access and use can be found at  
<http://www.tandfonline.com/action/journalInformation?journalCode=tewa20>



## Evaluation of the impact of EMI on Ethernet networks from lighting technologies

Luana M. Silva, Ana Caroline T. de Carvalho, Júlia F. Araujo, Márcio Z. Fortes ,  
Lorena B. Oliveira and Joacir O. Silva

Engineering School, Department of Electrical Engineering, Fluminense Federal University, Niterói, Brazil

### ABSTRACT

This paper aims to verify the possible influences that lighting technologies can generate in the Ethernet networks through electromagnetic interference (EMI). For the realization of the tests were used twisted-pair cables, category 5 and 6 that were submitted to the influence of seven lighting equipment technologies on 13 samples. The tests were carried out in an armored environment at the LABLUX – UFF facilities using the Iperf3 software. The results of this study showed that although electronic components cause electromagnetic interference in different cable categories, Ethernet networks are not affected by these systems. On the other hand, the protocol for sending the packets may interfere with the efficiency and reliability of data packet traffic.

### ARTICLE HISTORY

Received 27 December 2017  
Accepted 11 October 2018

### KEYWORDS

Electromagnetic  
interference; Ethernet;  
lighting systems; data  
transfer

## 1. Introduction

Electromagnetic interference can be defined as an electric and magnetic wave, which affects or does not affect the operation of a device or cabling, interrupting the transfer of data or energy between them [1]. It is a high-frequency signal (noise) that radiates through the air or propagates through electrical and radio frequency (RF) cables [2]. In addition, it can be said that EMI is one of the major causes of failure in computer networks, especially when inadequate pipelines and channels are used to transport the cabling infrastructure [3]. Also in the same scope, it can be said that the transfer of binary information at high speed is also affected by the EMI, that is, unintentional electromagnetic radiation, because it causes interference in the electronic components contained in the printed circuit board (PCB) of the device, and may interfere with the correct functioning of other devices [4].

Due to the need for different equipment, circuits, and networks to operate in the same environment some standards have been created to establish the EMC levels of each one. In Brazil, the ABNT-NBR IEC / CISPR 15 which defines the limits and methods of measurement of characteristic radio-disturbances of lighting and similar electrical equipment [5], and the ABNT-NBR IEC / CISPR 22 the radiofrequency measurement methods in information technology equipment [6].

**CONTACT** Márcio Z. Fortes  [mzf@vm.uff.br](mailto:mzf@vm.uff.br)  Engineering School, Department of Electrical Engineering, Fluminense Federal University, 24210-240, Niterói, Brazil

© 2018 Informa UK Limited, trading as Taylor & Francis Group

Equipment and devices, such as motors, electric transformers, electric cables and fluorescent lamps are responsible for the generation of electromagnetic interference that can influence the behavior of data transfer in computer networks. Therefore, since the Ethernet network is strongly present in homes, universities, offices, factories, and industries around the world, it is necessary to carry out studies to verify the behavior of an Ethernet network system when subjected to noise caused by an EMI generator.

The Ethernet technology is an interconnection architecture between local networks that works by sending and receiving packets forming an uninterrupted service system, it is considered the dominant LAN [7] technology. In addition, Ethernet has been widely applied across several types of networks, metropolitan area networks (MANs) and wide area networks (WANs) [8]. A recent research study of advanced manufacturing within 500 companies in the US has revealed that Ethernet comprises more than 61% of the LANs (Local Area Network) installed in use today [3].

In addition to having fast and simple access to the LAN channel under floating traffic loads of the network, the Ethernet has a good performance of prices in several types of cable. It works in points, that is, it transfers data and information from one point to another by means of cables, which differs from the Wi-Fi networks [9]. The protocols used by the Internet application are Transmission Control Protocol (TCP) and User Datagram Protocol (UDP). In addition, there are recent transport protocols such as DCCP (Congestion Control Protocol), SCTP (Flow Congestion Transmission Protocol) and TFRC (TCP-friendly control rate), which are in the process of standardizing the Internet Engineering Task Force (IETF) [10].

The Ethernet network is regulated by the IEEE 802.3 standard, which defines standards for the operation, fabrication, use, and maintenance of Ethernet networks. This is the general pattern for these types of interconnect architecture that connect two or more devices so that they communicate [11].

The 802.3 group is responsible for the different standards of wired Ethernet networks, which includes the algorithms used for data transmission, collision detection, and other details. There are several Ethernet standards, which differ by the data transfer rate and type of cabling used. Although less commonly used, there are also standards for fiber optic cables, which are popularly used to create backbones, interconnecting two distant networks [12]. The different Ethernet standards are differentiated by the physical layer implementation types and vary according to the data transfer rate, topology used, cabling standards, and connectors, among others and are categorized according to the rate such as the *Standard Ethernet* that has a maximum data transfer rate of 10 Mbps. In addition, the 10BASE2 standard, also called *ThinNet* or *CheaperNet*, which for many years was the dominant 10 Mbps Ethernet standard, is illustrated in Figure 1 where the connections of a 10BASE2 Ethernet network are shown.

In order to simplify network standards, categories have been created, which are specifications created for twisted-pair cables. The CAT 5 (Category 5) cable provides sufficient features to support *Fast Ethernet standard* (100BASE-TX, for example, with data transfer rates up to 100 Mbps) and *Gigabit Ethernet standard* (1000base-T, for example, with data transfer rate up to 1000 Mbps) [13,14]. The CAT 6 (Category 6) provides sufficient features to support the *Gigabit Ethernet standard* (10GBase-T, for example, with maximum speeds up to 10 Gbps) [15,16].





**Figure 1.** Ethernet network.

Therefore, to facilitate the understanding of the text, the CAT 5 and CAT 6 nomenclatures will be used. The CAT 5 and CAT 6 cables are characterized by four pairs of twisted yarns, sealed by protective plastic cover.

Considering the need for improvement in the Ethernet network communication systems, as well as observing the effect of different types of lamps in this network, this work investigates the influence of EMI produced by seven different lighting technologies in the Ethernet network evaluating the packet generators as a possible point of reduction of success rates in data transmission.

## 2. Methodology

The methodology of the work is divided into two stages. The first is to verify the transfer rate when the system was subjected to the approach of disconnected lamps, where the cable CAT 5 was connected between two notebooks with a maximum transfer capacity of 100 Mbps. Thus, through the Iperf3 software was possible to measure the performing of the TCP and UDP bandwidth (protocols that serve to send data packets to an address). Still in the first stage, the CAT 6 cable was connected between two notebooks with a maximum transfer capacity of 1 Gbps, and through the same software, the transmission rate was verified.

In the second stage, lamps connected one by one were placed close to the cable, transmitting at first 100 Mbps and then at 1 Gbps, and through the same software were carried out throughput rate measurements.

In order to verify the impact of the different lamp technologies on the frequency band of data transmission via Ethernet, seven lamp technologies were selected as samples. The lamps and their powers are shown in Table 1.

The tests performed in this work were carried out in the LABLUX, which has INMETRO (Brazilian Regulatory Agency) accreditation to perform conformity tests on lighting products. This laboratory has an armored room for conducting EMC tests, equipped with the equipment necessary to perform them and with external interference attenuate.

The equipment used in the test, in addition to the samples described in Table 1, will be described below. Two notebooks with a transmission rate of up to 100 Mbps, two notebooks with a transmission rate of up to 1 Gbps and a Cat 5 cable and a CAT 6 both five

**Table 1.** Lamps used in the tests.

| Sample | Tested Lamps     |           |
|--------|------------------|-----------|
|        | Technology       | Power (W) |
| 1      | Incandescent     | 60        |
| 2      | LED (3000 K)     | 6         |
| 3      | LED              | 9         |
| 4      | LED (6500 K)     | 6         |
| 5      | LED              | 12        |
| 6      | CFL              | 15        |
| 7      | CFL              | 22        |
| 8      | CFL              | 42        |
| 9      | Halogen          | 50        |
| 10     | HID              | 150       |
| 11     | HID              | 400       |
| 12     | Fluorescent tube | 40        |
| 13     | LED tube         | 18        |

**Figure 2.** Armored room.

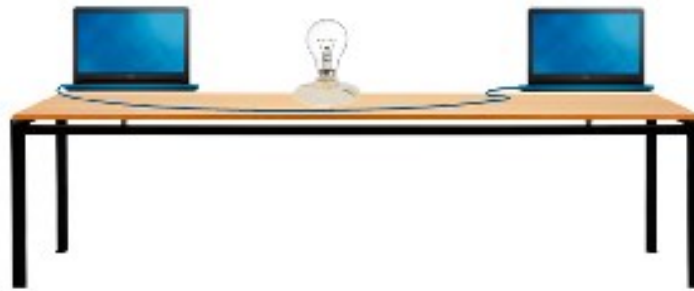
meters long. The results obtained by Iperf3 demonstrate the ability of a given medium to transmit data.

As required by ABNT – NBR IEC / CISPR-15, the maximum voltage deviation of the equipment under test shall be  $\pm 2\%$  of its nominal value, the operating frequency shall be equal to the nominal and the ambient temperature of the place where the assay is performed must be within the range of 15°C to 25°C. Figure 2 shows the photo of the armored room where tests 1 and 2 were performed.

### 2.1. Test 1 assembly and procedures

During the tests were guaranteed the environmental conditions described in ABNT – NBR IEC / CISPR-15.

The ANSI / TIA-1005 Telecommunications Infrastructure standard for industrial installations requires at least 50 mm of separation between conductors of any lighting technology and data cables. The ANSI / EIA / TIA-569-A standard for commercial installations provides



**Figure 3.** Assembly scheme of Test 1, with two notebooks, one lamp off and one twisted-pair cable.



**Figure 4.** Photo of the assembly scheme of test 1 performed in LABLUX.

separation requirements of 120 mm between fluorescent lamps and network cables. The distance used in this test was 150 mm.

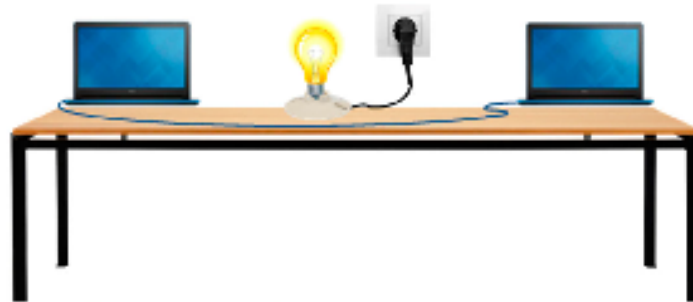
The first part of the tests consists of verifying, via iperf3 software, a real transfer rate between two notebooks with a maximum transfer capacity of 100 Mbps, connected by a CAT 5 cable and two other notebooks with a maximum transfer capacity of 1 Gbps, connected by Cable Cat 6. The assembly scheme is shown in Figure 3 and assembly in the laboratory is presented in Figure 4.

## 2.2. Test 2 assembly and procedures

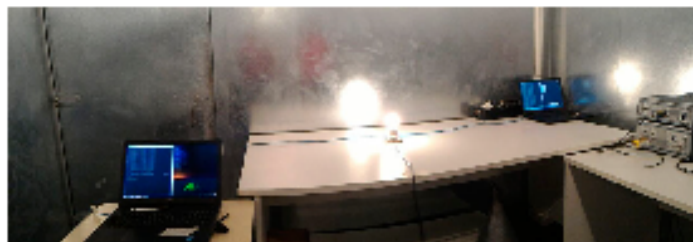
Test 2 had the objective of verifying the existence of transfer reduction of the data packet when the cable is submitted to the approximation of samples of some lighting technologies. The 13 lamps were positioned one at a time and the transfer data was recorded. Each measurement occurred within 1 min. The assembly scheme is shown in Figure 5 and the assembly in the laboratory is shown in Figure 6.

## 3. Results analysis

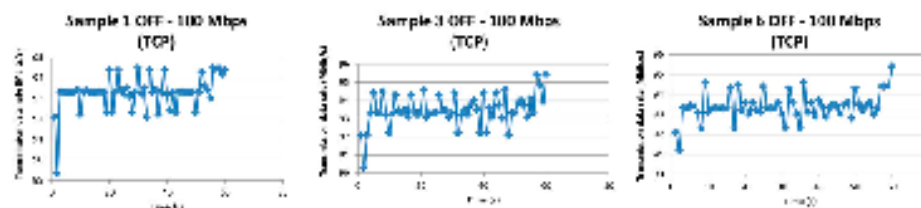
To exemplify the tests, Figures 7 and 8 (100 Mbps), 9 and 10 (1 Gbps) show the results obtained during measurements of the data rate when the lamp sample 1, 3 and 6 was placed off near the cable. Tables 2 and 3 contain the transmission rate measurements of all samples at 100 Mbps and 1 Gbps, respectively, with the lamps off. The first column describes



**Figure 5.** Assembly scheme of Test 2, with two notebooks, one twisted-pair cable and a lamp on.



**Figure 6.** Photo of the assembly scheme of test 2 carried out in LABLUX.



**Figure 7.** Test performed with sample 1, 3 and 6 switched off. TCP communication protocol and nominal transmission rate of 100 Mbps.

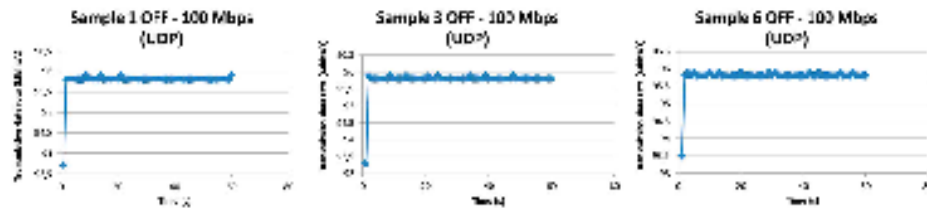
all samples, a second column shows the measured values with a TCP protocol, a third column shows measurements with UDP protocol and the last column presents the percentage of the losses of UDP protocol packets.

As can be seen, the use of the different protocols (TCP and UDP) implied a variation in the measured average transmission rate. This variation can be explained by the fact that TCP is a connection-oriented protocol that ensures that the data arrives unchanged, despite all the problems that may exist in the connection. In the case of UDP, there is no data check during the link, they are transmitted only once and at the end, the percentage of packet loss is obtained.

The values found for the measurements with the other samples were similar and so are not detailed in this text (Figures 9 and 10).

Despite the difference in the average data transmission rate in the two protocols tested (TCP and UDP), it is possible to state that in both cases the measured values were close





**Figure 8.** Test performed with sample 1, 3 and 6 switched off. UDP communication protocol and nominal transmission rate of 100 Mbps.

**Table 2.** Lamps off (100 Mbps).

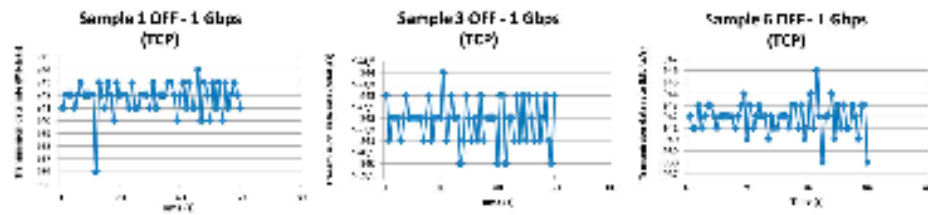
| Sample | Transmission data rate |            |            |
|--------|------------------------|------------|------------|
|        | TCP (Mbps)             | UDP (Mbps) | Losses UDP |
| 1      | 96.2                   | 95.8       | 5.8%       |
| 2      | 93.5                   | 95.8       | 5.5%       |
| 3      | 93.4                   | 95.8       | 5.6%       |
| 4      | 93.3                   | 95.8       | 5.5%       |
| 5      | 93.3                   | 95.8       | 5.6%       |
| 6      | 93.4                   | 95.8       | 5.6%       |
| 7      | 93.3                   | 95.8       | 5.7%       |
| 8      | 93.3                   | 95.7       | 6.3%       |
| 9      | 93.3                   | 95.8       | 5.8%       |
| 10     | 93.4                   | 95.8       | 5.4%       |
| 11     | 93.5                   | 95.8       | 5.4%       |
| 12     | 93.4                   | 95.8       | 5.9%       |
| 13     | 93.4                   | 95.8       | 5.8%       |
| All    | 93.4                   | 95.8       | 6.4%       |

**Table 3.** Lamps off (1 Gbps).

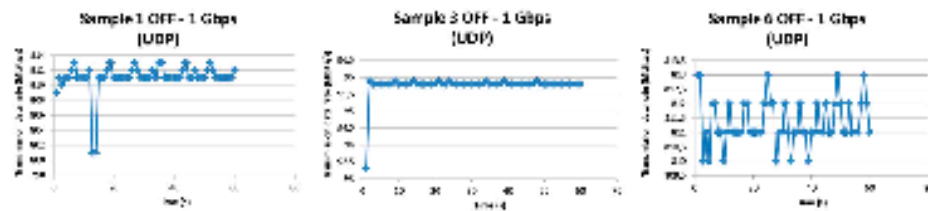
| Sample | Transmission data rate |            |            |
|--------|------------------------|------------|------------|
|        | TCP (Mbps)             | UDP (Mbps) | Losses UDP |
| 1      | 941                    | 811        | 0.05%      |
| 2      | 941                    | 811        | 0.04%      |
| 3      | 941                    | 811        | 0.02%      |
| 4      | 941                    | 811        | 0.02%      |
| 5      | 942                    | 811        | 0.02%      |
| 6      | 942                    | 812        | 0.02%      |
| 7      | 943                    | 813        | 0.03%      |
| 8      | 942                    | 812        | 0.02%      |
| 9      | 941                    | 810        | 0.04%      |
| 10     | 940                    | 811        | 0.02%      |
| 11     | 941                    | 811        | 0.02%      |
| 12     | 941                    | 813        | 0.04%      |
| 13     | 942                    | 804        | 0.00%      |
| All    | 811                    | 811        | 0.01%      |

to the nominal values. In this case, 96 Mbps for the nominal transmission of 100 Mbps and 811 Gbps for 1 Gbps when using the UDP protocol and 94 Mbps and 932 Gbps in the case of TCP.

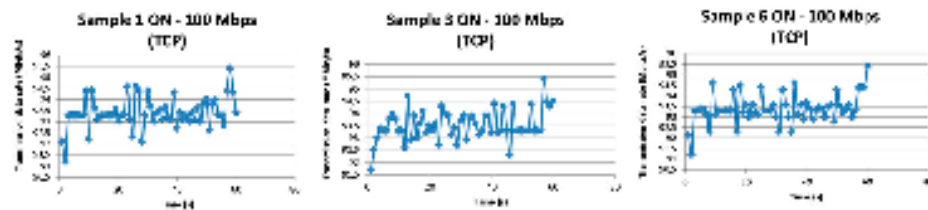
The results show that the data transmission rate in the Ethernet network was not modified by the presence of the switched off lamps for all cases tested.



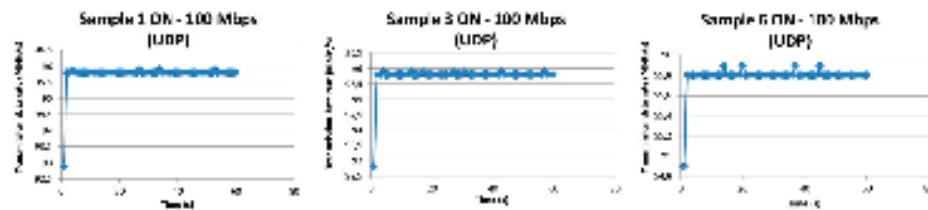
**Figure 9.** Test performed with sample 1, 3 and 6 switched off. TCP communication protocol and nominal transmission rate of 1 Gbps.



**Figure 10.** Test performed with sample 1, 3 and 6 switched off. UDP communication protocol and nominal transmission rate of 1 Gbps.



**Figure 11.** Test performed with sample 1, 3 and 6 switched on. TCP communication protocol and nominal transmission rate of 100 Mbps.



**Figure 12.** Test performed with sample 1, 3 and 6 switched on. UDP communication protocol and nominal transmission rate of 100 Mbps.

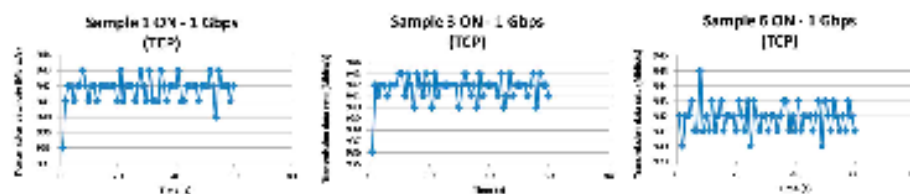
Figures 11 and 12 (100 Mbps), 13 and 14 (1 Gbps) show the results obtained during measurements of data rate when sample 1, 3 and 6, turned on, was placed next to the CAT 5 and 6 cable, respectively, as shown in the scheme of Figure 5. Tables 4 and 5 contain the transmission rate measurements of all samples at 100 Mbps and 1 Gbps, respectively, with the lamps on.

**Table 4.** Lamps on (100 Mbps).

| Sample | Transmission data rate |            |            |
|--------|------------------------|------------|------------|
|        | TCP (Mbps)             | UDP (Mbps) | Losses UDP |
| 1      | 93.4                   | 95.8       | 5.7%       |
| 2      | 93.5                   | 95.8       | 5.9%       |
| 3      | 93.5                   | 95.8       | 5.6%       |
| 4      | 93.5                   | 95.8       | 5.4%       |
| 5      | 93.4                   | 95.8       | 5.5%       |
| 6      | 93.4                   | 95.8       | 6.1%       |
| 7      | 93.5                   | 95.8       | 5.9%       |
| 8      | 93.3                   | 95.7       | 5.6%       |
| 9      | 93.5                   | 95.8       | 5.6%       |
| 10     | 93.4                   | 95.8       | 5.6%       |
| 11     | 93.3                   | 95.8       | 5.6%       |
| 12     | 93.5                   | 95.8       | 5.8%       |
| 13     | 93.4                   | 95.8       | 5.7%       |
| All    | 93.5                   | 95.8       | 5.9%       |

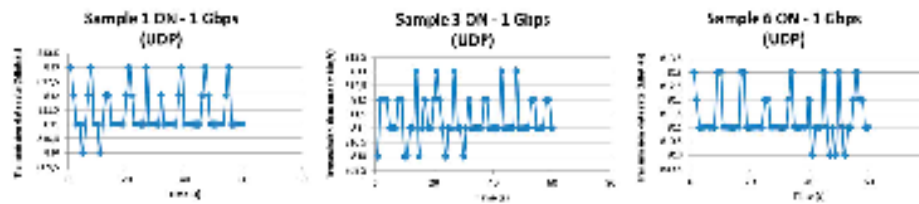
**Table 5.** Lamps on (1 Gbps).

| Sample | Transmission data rate |            |            |
|--------|------------------------|------------|------------|
|        | TCP (Mbps)             | UDP (Mbps) | Losses UDP |
| 1      | 942                    | 811        | 0.00%      |
| 2      | 942                    | 811        | 0.03%      |
| 3      | 941                    | 811        | 0.02%      |
| 4      | 941                    | 810        | 0.06%      |
| 5      | 941                    | 811        | 0.01%      |
| 6      | 941                    | 812        | 0.03%      |
| 7      | 942                    | 813        | 0.05%      |
| 8      | 940                    | 810        | 0.02%      |
| 9      | 941                    | 810        | 0.05%      |
| 10     | 942                    | 813        | 0.38%      |
| 11     | 944                    | 811        | 0.02%      |
| 12     | 941                    | 810        | 0.22%      |
| 13     | 941                    | 811        | 0.04%      |
| All    | 941                    | 805        | 0.02%      |

**Figure 13.** Test performed with sample 1, 3 and 6 switched on. TCP communication protocol and nominal transmission rate of 1 Gbps.

It is possible to observe that, independent of the TCP or UDP protocol, there was no significant packet loss in the data transmission rate, either for configuration at 100 Mbps or at 1 Gbps. In addition, the data transmission rate values did not show sufficient decay to characterize the interference of the lamps (Figures 13 and 14).

Another aspect to be highlighted is the difference of transmission data rate values measured through the Iperf3 software in different operating systems. During the tests at the CAT



**Figure 14.** Test performed with sample 1, 3 and 6 switched on. UDP communication protocol and nominal transmission rate of 1 Gbps.

**Table 6.** Differences between operational systems (1 Gbps).

| Transmission data rate of CAT 6 cable |           |            |
|---------------------------------------|-----------|------------|
| IV.                                   | ON (Mbps) | OFF (Mbps) |
| TCP Windows                           | 529       | 542        |
| TCP Linux                             | 941       | 932        |
| UDP Windows                           | 508       | 534        |
| UDP Linux                             | 810       | 810        |

6 cable (1 Gbps), with Iperf3 software installed on a Windows operating system notebook, it was noticed that the reached values were close to 500 Mbps, when they should close to 1 Gbps. Therefore, the Iperf3 software was installed in another notebook, this one with a Linux operating system, whereby the same CAT 6 cable was tested and the measured values of TCP and UDP reached the expected limits, as shown in Table 6. The CAT 5 cable was tested through the same software, on a Windows operating system notebook, and reached values close to the maximum limit (100 Mbps). Therefore, it was not necessary to resort to another operating system.

In addition to the tests performed, the possible influence of the distances between CAT 5 and CAT 6 cables and the samples tested was also analyzed. For that, some tests were performed at distances 0, 50, 100 and 150 mm. The results of the tests showed that despite the distance variation, there was no variation in the data transmission between the computers.

#### 4. Conclusion

In this work, we investigated the impact on the Ethernet network originated by a potential EMI interference source produced by seven different lighting technologies. The results of the tests show that although the electronic components cause electromagnetic interference at different frequencies, the ethernet bandwidth is not affected by these different lamps technologies and that CAT 5 and CAT 6 cables do not suffer performance losses when close to the lighting bulbs.

The CAT 5 and CAT 6 cables are designed to suppress interference, and according to the results found in this work, it is concluded that they are well protected. In addition, it is possible to evaluate, from the results obtained, that the protocol for sending packets can interfere in the efficiency and reliability of the data packet traffic.



It should be noted that this article applies a test methodology to lighting equipment and can be extended to other types of equipment in order to verify the impacts of EMI or to serve as a basis for other certification procedures to be elaborated and implemented.

### Disclosure statement

No potential conflict of interest was reported by the authors.

### ORCID

Márcio Z. Fortes  <http://orcid.org/0000-0003-4040-8126>

### References

- [1] Cassiolato C. Interferência Eletromagnética: Associação Profibus Brasil. [Internet]. [cited 2017 Dec 2]. Available from: [http://www.profibus.org.br/artigos/EMI\\_Interferencia\\_Eletromagnetica.pdf](http://www.profibus.org.br/artigos/EMI_Interferencia_Eletromagnetica.pdf).
- [2] Mehl ELM. Qualidade da Energia Elétrica: Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Paraná. [Internet]. [cited 2017 Dec 8]. Available from: <http://www.eletrica.ufpr.br/mehl/downloads/qualidade-energia.pdf>.
- [3] Pinheiro JMS. Interferência Eletromagnética em Redes de Computadores - Projeto de Redes. [Internet]. [cited 2017 Oct 12]. Available from: [http://www.projetoderedes.com.br/artigos/artigo\\_interferencias\\_eletromagneticas.php](http://www.projetoderedes.com.br/artigos/artigo_interferencias_eletromagneticas.php).
- [4] Santos JFH, Moreno P. A staggered transmission scheme for mitigating electromagnetic interference levels radiated by high-speed digital systems. *J Electromagnet Wave*. 2014;28:2014–2024. doi:10.1080/09205071.2014.953641.
- [5] Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. NBR IEC/CISPR 15- Limites e Métodos de Medição das Radioperturbações Características dos Equipamentos Elétricos de Iluminação e Similares; 2014.
- [6] Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. NBR IEC/CISPR22 - Equipamento de Tecnologia da Informação - Características de Radioperturbação - Limites e Métodos de Medição; 2013.
- [7] Silva RF, Carpenter PM. Energy efficient ethernet on mapreduce clusters: packet coalescing to improve 10GbE links. *IEEE/ACMT Network*. 2017;25:2731–2742. doi:10.1109/TNET.2017.2707859.
- [8] Pan X, Ye T, Lee TT, et al. Power efficiency and delay tradeoff of 10GBase-T energy efficient ethernet protocol. *IEEE/ACM T Network*. 2017;25:2773–2787. doi:10.1109/TNET.2017.2703928.
- [9] Adams WM. Why 802.3/Ethernet LANs flourish in manufacturing operations. *Comput Integ Manuf Syst*. 1990;3:53–56. doi:10.1016/0951-5240(90)90171-A.
- [10] Wheeb AH. Performance evaluation of UDP, DCCP, SCTP, and TFRC for different traffic flow in wired networks. *Int J Elect Comput Eng*. 2017;7:3552–3557. doi:10.11591/ijece.v7i6.pp3552-3557.
- [11] Normas Técnicas IEEE 802.3 [Internet]. [cited 2017 Dec 2]. Available from: <https://www.normastecnicas.com/ieee/ieee-802-3>.
- [12] Meirelles A. Redes, Guia Prático 2ª Ed. [Internet]. 2008; [cited 2017 December 15]. Available from: <http://www.hardware.com.br/livros/redes/padroes.html>.
- [13] Azadet K, Yu ML, Larsson P, et al. A gigabit transceiver chip set for UTP CAT-6 cables in digital CMOS technology. In: 2000 IEEE international solid-state circuits conference; 2000 Feb 9; San Francisco (USA); 2000. p. 1–2. doi:10.1109/ISSCC.2000.839792.
- [14] Tanenbaum AS, Wetherall DJ. Redes de Computadores. 5th ed. São Paulo (Brazil): Pearson Prentice-Hall; 2011.
- [15] Jeffrey I, Gilmore C, Siemens G, et al. Hardware invariant protocol disruptive interference for 100BaseTX Ethernet communications. *IEEE T Electromagnet C*. 2004;46:412–422. doi:10.1109/TEMC.2004.831885.
- [16] Naqvi SHR, Matera A, Combi L, et al. On the transport capability of LAN cables in all-analog MIMO-RoC fronthaul. In: 2017 IEEE wireless communications and networking conference; 2017 Mar 19–22. San Francisco (USA); 2017. doi:10.1109/WCNC.2017.7925638.