

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal
de Campina Grande

PEDRO PAULO FERREIRA DO NASCIMENTO

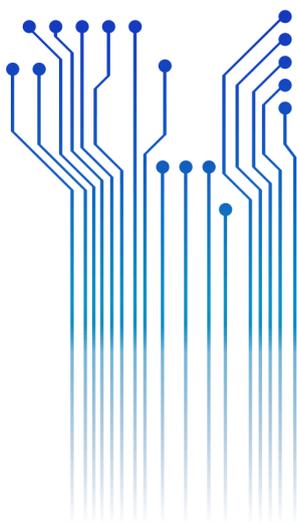


Centro de Engenharia
Elétrica e Informática

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO
LABORATÓRIO DE METROLOGIA (LABMET) – UFCG



Departamento de
Engenharia Elétrica



Campina Grande, Paraíba
2018

PEDRO PAULO FERREIRA DO NASCIMENTO

ESTUDO DO SISTEMA TS9882 EMS TEST SYSTEM E DO SOFTWARE R&S®EMC32 PARA
TESTES DE COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA

*Relatório de Estágio Supervisionado submetido
à Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica
da Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Engenharia
Elétrica.*

Área de Concentração: Compatibilidade Eletromagnética

Orientador:

Professor Glauco Fontgalland, PhD.

Campina Grande
2018

PEDRO PAULO FERREIRA DO NASCIMENTO

ESTUDO DO SISTEMA TS9882 EMS TEST SYSTEM E DO SOFTWARE R&S®EMC32 PARA
TESTES DE COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA

*Relatório de Estágio Supervisionado submetido
à Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica
da Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Engenharia
Elétrica.*

Área de Concentração: Compatibilidade Eletromagnética

Aprovado em / /

Professor Rômulo Raimundo Maranhão do Valle
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Professor Glauco Fontgalland, PhD.
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais por todo carinho e apoio dado, os quais foram essenciais para todas as conquistas de minha vida.

Agradeço em especial a Galba pelos esclarecimentos sobre o sistema e sobre as medições.

Agradeço ao LabMet e a seu técnico, Valber, pela ajuda prestada durante as medições.

Agradeço aos professores do LEMA, ao Prof. Rômulo e a Prof. Raquel, em especial ao Prof. Glauco Fontgalland pela orientação, paciência e dedicação em ajudar sempre quando foi necessário.

Agradeço aos colegas e amigos do Laboratório de Eletromagnetismo Aplicado (LEMA) pela convivência no meu último ano de curso e pelas experiências e conhecimentos passados.

Agradeço a todos os amigos e colegas que fiz e conheci na Universidade, pelos momentos vivenciados, de diversão, alegria e tristeza e pelas conversas no Quiosque, a beira do lago da UFCG.

E agradeço ao contribuinte brasileiro pelo investimento na Educação Superior.

“ When you can measure what you are speaking about, and express it in numbers, you know something about it; but when you cannot measure it, when you cannot express it in numbers, your knowledge is of a meagre and unsatisfactory kind; it may be the beginning of knowledge, but you have scarcely, in your thoughts, advanced to the stage of science, whatever the matter may be ”.

William Thomson, Lord Kelvin

RESUMO

O estudo de Compatibilidade Eletromagnética é cada vez mais relevante, sendo esta uma das etapas essenciais a qualquer projeto eletrônico, por conseguinte o exame de conformidade às normas reguladoras e o domínio dos mecanismos de testes é de extrema importância. Esses testes e essas análises devem ser realizados seguindo normas e padrões internacionais. O presente relatório diz respeito as atividades desenvolvidas no Laboratório de Metrologia, LabMet, da Universidade Federal de Campina Grande, isto é, testes de compatibilidade eletromagnética, descrevendo os equipamentos utilizados, os procedimentos adotados e as medições realizadas.

Palavras-chave: Compatibilidade Eletromagnética, Interferência Conduzida, TS9882 EMS Test System, LISN.

ABSTRACT

The study of Electromagnetic Compatibility gains relevance each year, it is already one of the essential stages when developing an electronic project, therefore the exam of the conformity to the regulation standards and the knowledge of the measurement procedures has vital importance.

These analyses and measurements are realized and regulated by international standards. This work aims to explain the activities done at the Laboratório de Metrologia, LabMet, existent at the Universidade Federal de Campina Grande, these activities were electromagnetic compatibility tests, and it is also described the equipment used, the adopted procedures and finally, the measurements made.

Keywords: Electromagnetic Interference, Conducted Interference, TS9882 EMS Test System, LISN.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – TS9882 EMS TEST SYSTEM presente no LabMet	16
Figura 2 – Analisador de Espectro do Sistema <i>TS9882 EMS System</i>	16
Figura 3 – Esquemático da conexão do LISN a rede e ao EUT	17
Figura 4 – Diagrama do circuito do LISN	18
Figura 5 – LISN presente no LabMet do DEE/UFCG	19
Figura 6 – Ambiente Externo da Câmara Anecoica do DEE/UFCG	19
Figura 7 – Ambiente Interno da Câmara Anecoica do DEE/UFCG	20
Figura 8 – Painel de Conexão entre o Sistema de Medição e a Câmara Anecoica	20
Figura 9 – Detalhes do painel de conexão entre o LISN e o TS9882 EMS Test System	21
Figura 10 – Lâmpadas CFL e LED utilizadas nas medições	21
Figura 11 – Esquemático da Medição	22
Figura 12 – Setup da medição realizada para a Lâmpada de LED	22
Figura 13 – Detalhes da conexão do LISN ao <i>TS9882 EMS TEST SYSTEM</i>	23
Figura 14 – Informações do Relatório na Medição com Lâmpada Fluorescente Compacta	24
Figura 15 – Informações do Relatório na Medição com Lâmpada de LED	24
Figura 16 – Gráfico de Medição para a Lâmpada Fluorescente Compacta	25
Figura 17 – Gráfico de Medição para a Lâmpada de LED	25

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CEM	Compatibilidade Eletromagnética
CFL	Lâmpada Fluorescente Compacta
EUT	Equipamento sob Teste
LabMet	Laboratório de Metrologia
LISN	Estabilizador de Impedância de Linha

SUMÁRIO

Agradecimentos	iv
Resumo	vi
Abstract	vii
Lista de Ilustrações	viii
Lista de Abreviaturas e Siglas	ix
Sumário	x
1 Introdução.....	14
1.1 Motivação	14
1.2 Objetivos do Estágio	15
2 O Sistema de Medição.....	15
2.1 <i>TS9882 EMS TEST SYSTEM</i>	15
2.2 Analisador de Espectro	15
2.3 Rede de Estabilização de Impedância de Linha	17
2.4 Ambiente da Câmara Anecoica.....	18
3 Procedimentos das Medições.....	21
3.1 Normas Utilizadas.....	23
4 Resultados das Medições.....	23
5 Conclusão	26
Referências	27

1 INTRODUÇÃO

O presente relatório descreve as atividades desenvolvidas pelo estudante Pedro Paulo Ferreira do Nascimento no estágio supervisionado realizado no Laboratório de Metrologia (LabMet) da Universidade Federal de Campina Grande. O estágio foi realizado durante o período de 01 de Outubro de 2018 a 06 de Dezembro de 2018.

1.1 MOTIVAÇÃO

Sabe-se que ondas eletromagnéticas de rico conteúdo espectral são emitidas por certos fenômenos e equipamentos, como por exemplo descargas atmosféricas, centelhador de transmissão a rádio, motores de indução (PAUL, 2006) lâmpadas fluorescentes (LEITE, 2010) e diversos equipamentos eletrônicos (SILVA, 2008), essas emissões se propagam no ar ou são conduzidas em cabos e podem prejudicar o funcionamento de equipamentos conectados à rede (PAUL, 2006).

Compreender os fenômenos físicos que geram essas emissões, e saber mensurá-los, é de vital importância para evitar que haja prejuízo ao funcionamento dos equipamentos pois estes são, simultaneamente, fonte de emissões e suscetíveis a elas, portanto os equipamentos devem ser projetados de modo que sua operação não perturbe a operação de outros equipamentos e de modo que exista um nível de tolerância às emissões as quais eles estão suscetíveis. Isto é, devem ser projetados de modo que haja Compatibilidade Eletromagnética (CEM) e por esta entende-se *“a habilidade de um equipamento, subsistema ou sistema, de compartilhar o espectro eletromagnético e executar ao mesmo tempo sua função sem interferir no seu funcionamento”* (PAUL, 2006).

O Laboratório de Metrologia (LabMet) da Universidade Federal de Campina Grande dispõe de equipamentos de ponta capazes de testar esses níveis de emissão e realizar medições de CEM o que configura uma oportunidade de estágio singular tendo em vista que poucas são as Universidades e Centros de Pesquisa que dispõe de sistemas de medição para testes de conformidade de Compatibilidade Eletromagnética.

1.2 OBJETIVOS DO ESTÁGIO

Os objetivos do estágio foram estudar o sistema de testes de Compatibilidade Eletromagnética da Rohde & Schwarz, *TS9882 EMS TEST SYSTEM*, e o software EMC32, e com isso realizar medições de CEM, a saber, Emissão e Susceptibilidade Conduzida.

As atividades foram divididas da seguinte forma:

- Estudo dos equipamentos;
- Testes de funcionalidade do equipamento;
- Estudo dos procedimentos adequados para medições;
- Realização das medições.

2 O SISTEMA DE MEDIÇÃO

2.1 *TS9882 EMS TEST SYSTEM*

O *TS9882 EMS TEST SYSTEM* da Rohde & Schwarz é um equipamento capaz de realizar testes e medições de Compatibilidade Eletromagnética.

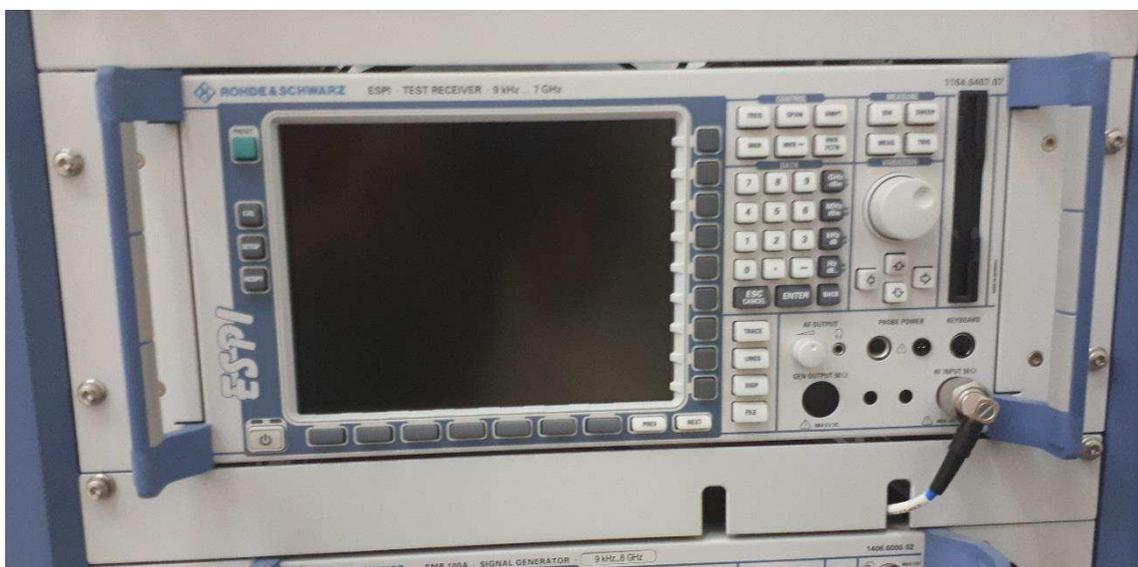
2.2 ANALISADOR DE ESPECTRO

O Analisador de Espectro do mede a magnitude de um sinal elétrico de entrada em intervalos de frequência do equipamento, para o caso das medições feitas, o analisador será responsável por obter as emissões realizadas pelo Equipamento Sob Teste (EUT).

Figura 1 – TS9882 EMS TEST SYSTEM presente no LabMet



Fonte: O Autor

Figura 2 – Analisador de Espectro do Sistema *TS9882 EMS System*

Fonte: O Autor

2.3 REDE DE ESTABILIZAÇÃO DE IMPEDÂNCIA DE LINHA

A Rede de Estabilização de Impedância de Linha (LISN), do inglês *Line Impedance Stabilizer Network* – LISN, é um dos equipamentos utilizados nos testes de emissão conduzida. Seu objetivo é tornar as medidas realizadas em um determinado ambiente de teste correlacionáveis com outros ambientes de testes.

Para realizar testes de emissão conduzida, como já foi discutido, faz-se necessário o uso da rede elétrica AC e de tomadas conectadas à essa rede, entretanto há variabilidade da impedância de corrente alternada das tomadas utilizadas, e então existirá variação nos valores de emissão medidos em cada tomada. Além disso, possíveis ruídos na rede elétrica podem contaminar as medições e comprometer os testes.

O LISN é o equipamento que soluciona esses dois problemas e funciona como um intermediário entre o EUT e a Rede AC, isto é, o EUT é conectado ao LISN que é conectado à Rede AC, tal qual o esquema da Figura 3, em que o Analisador de Espectro é utilizado para obter os níveis de emissão conduzida oriundos do EUT os quais são confrontados com valores limites da norma

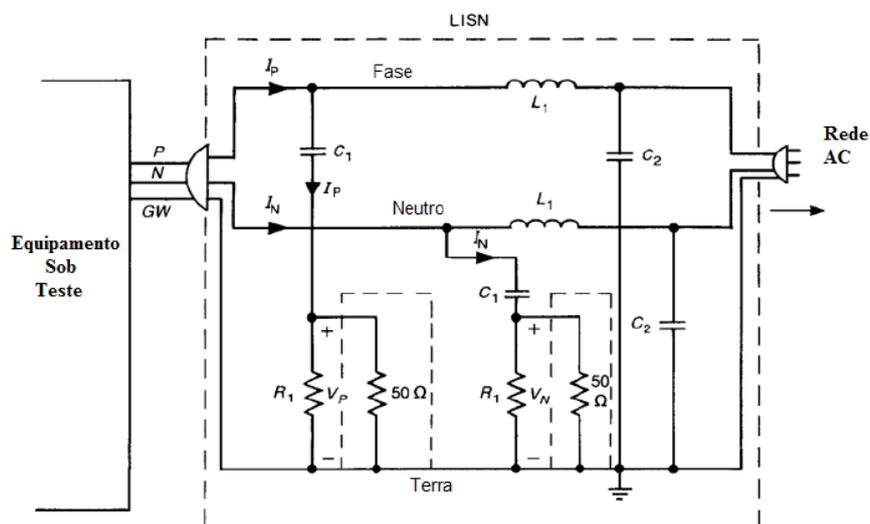
Figura 3 – Esquemático da conexão do LISN a rede e ao EUT



Fonte: Adaptado de (LEITE, 2010)

Como pode ser visto pelo diagrama esquemático de um LISN na Figura 4, há um processo de filtragem do sinal. O capacitor C_1 impede que qualquer nível DC sobrecarregue o receptor e os indutores L_1 e capacitores C_2 são essencialmente um circuito aberto nas faixas de frequência da realização do teste, em geral os LISN comerciais funcionam dentro das faixas dos limites regulatórios, $9\text{ kHz} - 30\text{ MHz}$, portanto para essa faixa o circuito equivalente do LISN como visto pelo EUT se reduz a um circuito de impedância 50Ω entre fase e terra e neutro e fase, valor de impedância padrão para diversas aplicações em eletrônica, que é também o valor de entrada padrão para o analisador de espectro utilizado nas medições de emissão conduzida e com isso a variação de impedância das tomadas deixa de existir.

Figura 4 – Diagrama do circuito do LISN



Fonte: Adaptado de (PAUL, 2006)

O LISN existente no LabMet é o modelo 4810/2 da ETS LindGren e tem frequência de operação na faixa de $9\text{ kHz} - 300\text{ MHz}$, como pode ser observado na Figura 5.

2.4 AMBIENTE DA CÂMARA ANECOICA

O *TS9882 EMS TEST SYSTEM* está conectado a uma Câmara Anecoica, também presente no LabMet, vide Figura 6 e Figura 7, a conexão é feita por meio de cabos vide Figura 8. Na Figura 9 é possível observar detalhes da parte dessa conexão no interior da Câmara Anecoica e para os testes realizados é necessário apenas o uso da porta *RX-ANT/LISN*, a qual foi destacada.

Figura 5 – LISN presente no LabMet do DEE/UFCCG



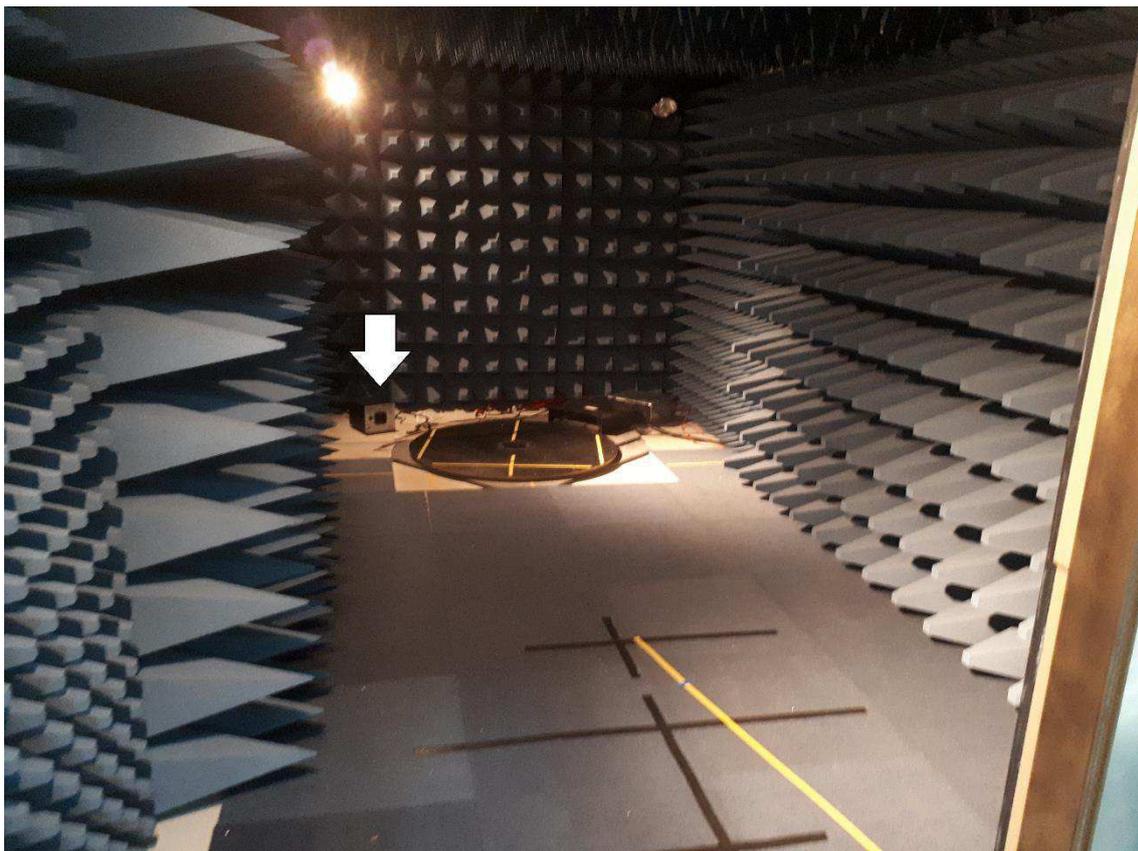
Fonte: O Autor

Figura 6 – Ambiente Externo da Câmara Anecoica do DEE/UFCCG



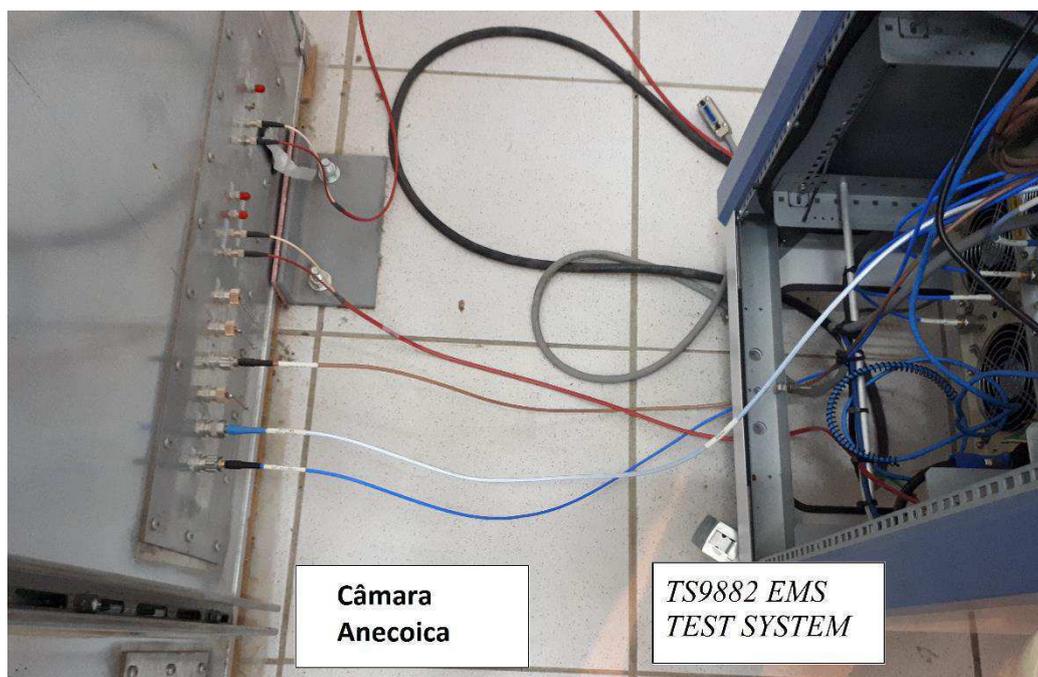
Fonte: O Autor

Figura 7 – Ambiente Interno da Câmara Anecoica do DEE/UFMG



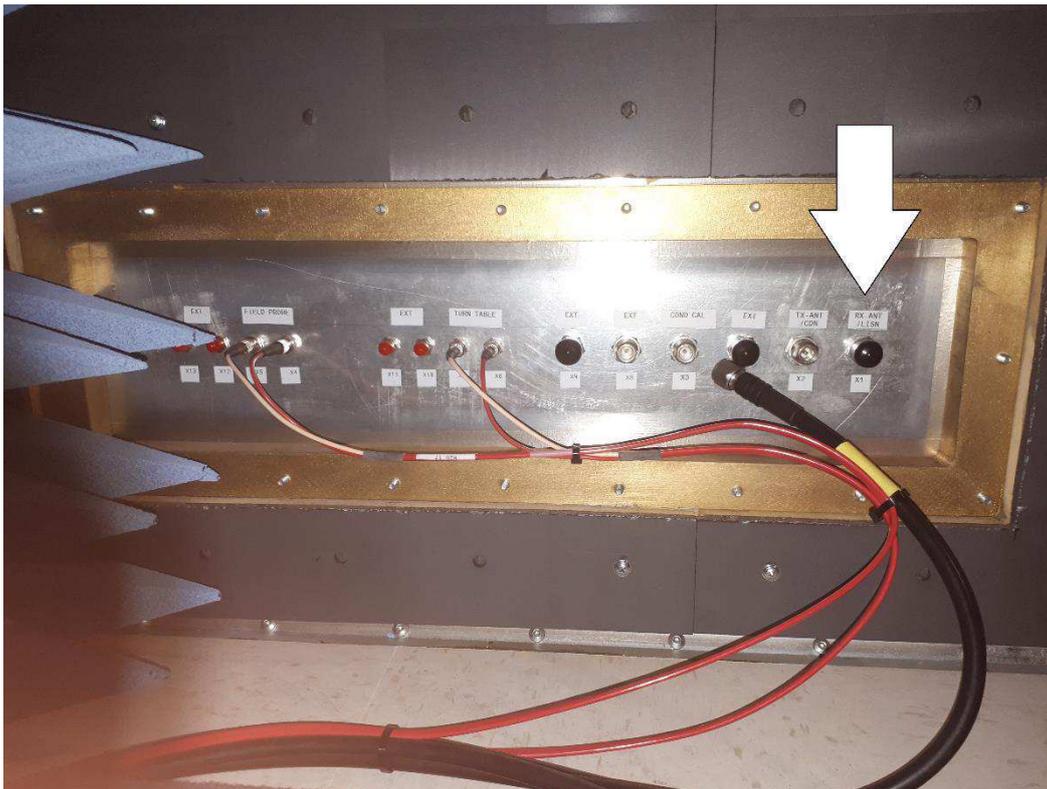
Fonte: O Autor

Figura 8 – Painel de Conexão entre o Sistema de Medição e a Câmara Anecoica



Fonte: O Autor

Figura 9 – Detalhes do painel de conexão entre o LISN e o TS9882 EMS Test System



Fonte: O Autor

3 PROCEDIMENTOS DAS MEDIÇÕES

Para testar o sistema realizou-se medições em lâmpadas fluorescentes compactas (CFL) e de LED, ilustradas na Figura 10, seguindo as diretrizes de conexão do esquemático da Figura 2.

Figura 10 – Lâmpadas CFL e LED utilizadas nas medições

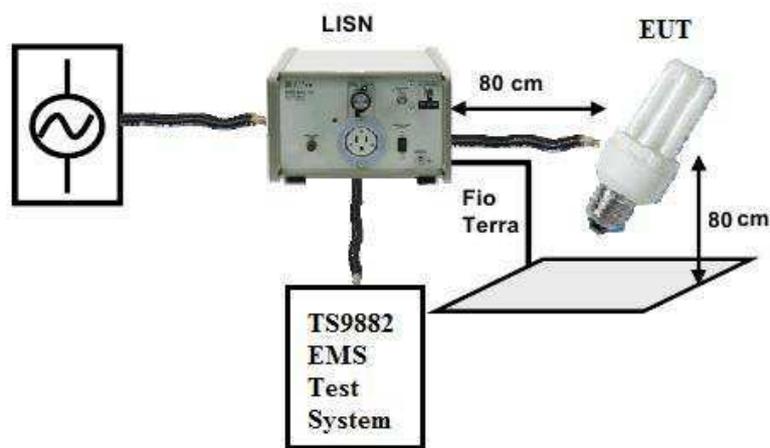


Fonte: O Autor

Há de se atentar que é necessário a inserção de um plano terra, vide o diagrama esquemático do LISN, Figura 4, isto é, o seu funcionamento depende da conexão ao terra e para tanto utilizou-se de uma chapa de alumínio.

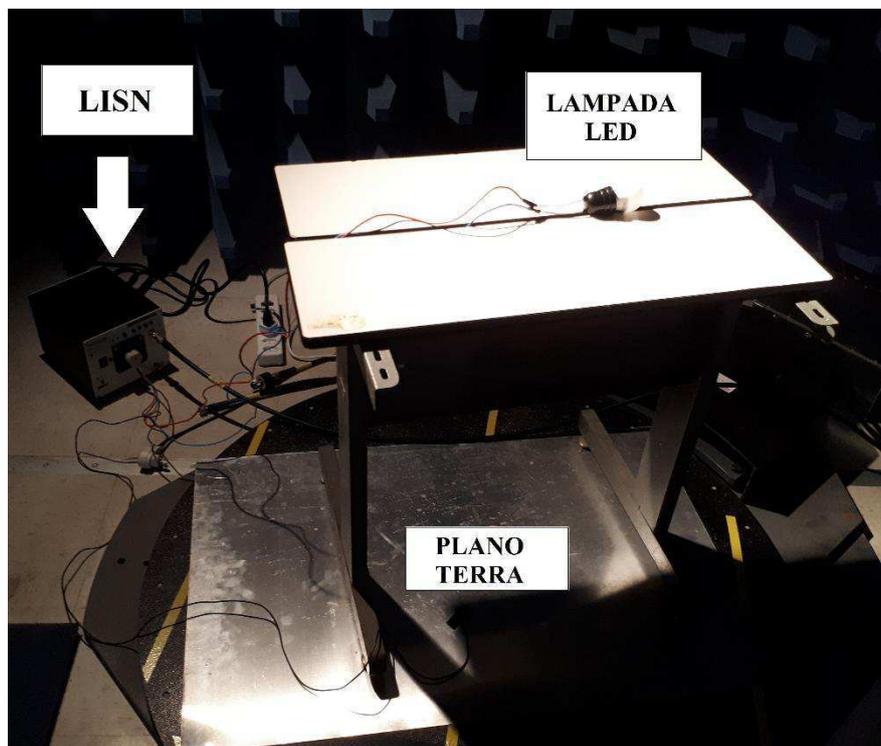
O *setup* foi feito de acordo com o esquemático da Figura 11 e uma foto dele executado no ambiente da CR, para o caso da lâmpada de LED, pode ser visto na Figura 12.

Figura 11 – Esquemático da Medição



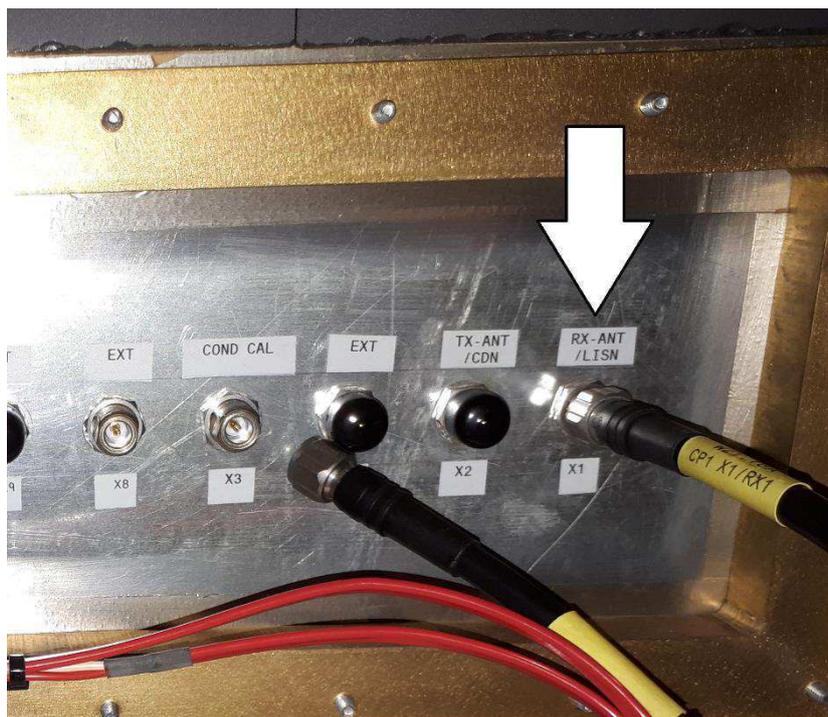
Fonte: Adaptado de (LEITE, 2010)

Figura 12 – Setup da medição realizada para a Lâmpada de LED



Fonte: O Autor

Figura 13 – Detalhes da conexão do LISN ao *TS9882 EMS TEST SYSTEM*



Fonte: O Autor

3.1 NORMAS UTILIZADAS

Os valores das medições realizadas foram comparadas com os limites estabelecidos pela *Federal Communications Commission (FCC)*, na seção *FCC Part 15* que discorre sobre medições de CEM.

Essas diretrizes discriminam duas classes de equipamentos:

- Classe A: Equipamentos vendidos para uso em ambiente comercial ou industrial;
- Classe B: Equipamentos vendidos para uso residencial, não obstante seu uso em ambientes comerciais.

4 RESULTADOS DAS MEDIÇÕES

As medições foram realizadas e os resultados foram salvos em um Relatório gerado pelo software, para fins de ilustração as informações do relatório das medição foram ilustradas na Figura 14 e Figura 15.

Figura 14 – Informações do Relatório na Medição com Lâmpada Fluorescente Compacta

Fluorescente Compacta		1 / 2			
EMC32 Report					
Common Information					
Test Description:	Conducted Emission Training				
Operating Conditions:	PC Chamber, Door closed				
Operator Name:	Pedro Paulo				
Hardware Setup: EMI conducted\EMI 150k - 30 MHz LISN Configuration - [EMI conducted]					
Subrange 1					
Frequency Range:	150 kHz - 30 MHz				
Receiver:	Rcvr [ESPI 7] @ GPIB0 (ADR 20), SN 101214/007, FW 4.42				
Signal Path:	Rcvr-LISN FW 1.0				
LISN:	LISN Correction Table (Line 0): 2-Line-LISN Line N Correction Table (Line 1): 2-Line-LISN Line L1				
Scan Setup: CE Final QP AV [EMI conducted]					
Hardware Setup:	EMI 150k - 30 MHz LISN Configuration				
Receiver:	[ESPI 7]				
Level Unit:	dBµV				
Subrange	Step Size	Detectors	IF BW	Meas. Time	Preamp
150 kHz - 30 MHz	4 kHz	QPK; AVG	9 kHz	1 s	0 dB

Fonte: O Autor

Figura 15 – Informações do Relatório na Medição com Lâmpada de LED

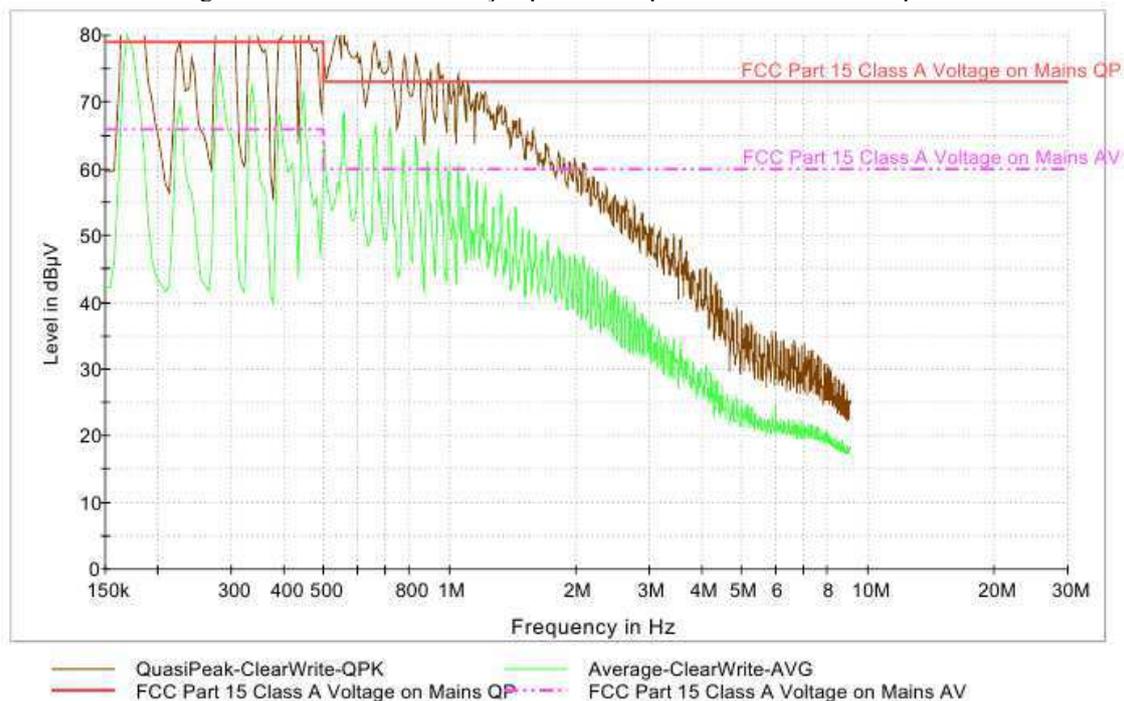
LED - (150K - 5M)		1 / 2			
EMC32 Report					
Common Information					
Test Description:	Conducted Emission Training				
Operating Conditions:	PC Chamber, Door closed				
Operator Name:	Pedro Paulo				
Hardware Setup: EMI conducted\EMI 150k - 30 MHz LISN Configuration - [EMI conducted]					
Subrange 1					
Frequency Range:	150 kHz - 30 MHz				
Receiver:	Rcvr [ESPI 7] @ GPIB0 (ADR 20), SN 101214/007, FW 4.42				
Signal Path:	Rcvr-LISN FW 1.0				
LISN:	LISN Correction Table (Line 0): 2-Line-LISN Line N Correction Table (Line 1): 2-Line-LISN Line L1				
Scan Setup: CE Final QP AV [EMI conducted]					
Hardware Setup:	EMI 150k - 30 MHz LISN Configuration				
Receiver:	[ESPI 7]				
Level Unit:	dBµV				
Subrange	Step Size	Detectors	IF BW	Meas. Time	Preamp
150 kHz - 30 MHz	4 kHz	QPK; AVG	9 kHz	1 s	0 dB

Fonte: O Autor

Os gráficos das medições também foram aqui expostos, nas Figura 16 e Figura

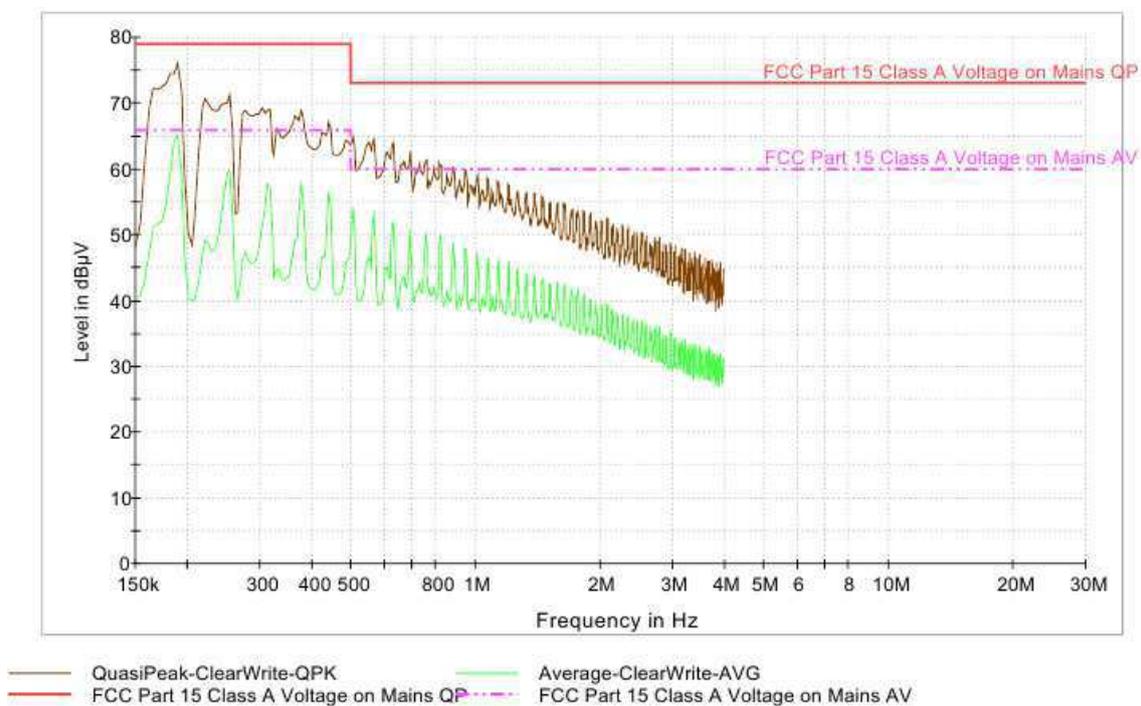
17.

Figura 16 – Gráfico de Medição para a Lâmpada Fluorescente Compacta



Fonte: O Autor

Figura 17 – Gráfico de Medição para a Lâmpada de LED



Fonte: O Autor

Ainda que o escopo do relatório não tenha sido analisar a interferência das lâmpadas, percebe-se que há interferências acima da norma em um intervalo de resultados

para as lâmpadas fluorescentes, resultado semelhante aos obtidos por (LEITE, 2010). Considerando, então que as medições foram um sucesso.

5 CONCLUSÃO

Findado o estágio foi possível realizar as medições de emissão conduzida utilizando o sistema da Rohde & Schwarz. No Brasil poucos são os locais que dispõem de tamanha estrutura e sejam capazes de realizar essas medições com o tipo de estrutura utilizado, portanto o estágio foi extremamente proveitoso. O acesso a um sistema de medição e um software comercial que são os mesmos utilizados para certificação de CEM em centros, nacionais e internacionais, muito engradece a formação do aluno e engradeceu.

REFERÊNCIAS

LEITE, P. I. F. *Estudo da Interferência Eletromagnética Produzida por Lâmpadas Fluorescentes Compactas*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande. 2010.

PAUL, C. R. *Introduction to Eletromagnetic Compatibility*. 2. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2006.

SILVA, E. F. *Uma proposta de Maximização da Região de Campo Uniforme para uma Câmara de Reverberação Compacta*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande. 2008.