

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
GOIÁS
CAMPUS GOIÂNIA/DEPARTAMENTO DAS ÁREAS ACADÊMICAS IV
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TAINÁ MARQUES CABRAL

ANÁLISE DE RADIOINTERFERÊNCIA DO *POWER LINE COMMUNICATION* (PLC)
NO SISTEMA *DIGITAL RADIO MONDIALE* (DRM)

Goiânia, 2022.



**TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO
NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC – Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Tainá Marques Cabral

Matrícula: 30172011060061

Título do Trabalho: Análise de Radiointerferência do Power Line Communication (PLC) no Sistema Digital Radio Mondiale (DRM)

Autorização - Marque uma das opções

1. ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- ☐ O documento está sujeito a registro de patente.
☐ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
☐ Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Goiânia, 07 / 03 / 2022.

Tainá Marques Cabral

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

TAINÁ MARQUES CABRAL

ANÁLISE DE RADIOINTERFERÊNCIA DO *POWER LINE COMMUNICATION* (PLC)
NO SISTEMA *DIGITAL RADIO MONDIALE* (DRM)

Trabalho de Conclusão de Curso, submetido à
Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia
Elétrica, Departamento Das Áreas Acadêmicas IV do
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de
Goiás, como parte dos requisitos necessários à
obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Me. Eliézer Alves Teixeira

Goiânia, 2022.

C117a Cabral, Tainá Marques.

Análise de radiointerferência do *Power Line Communication* (PLC) no sistema *Digital Radio Mondiale* (DRM) / Tainá Marques Cabral. – Goiânia : Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, 2022.
36f.

Orientação: Prof. Me. Eliézer Alves Teixeira.

TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) – Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica, Departamento de Áreas Acadêmicas IV, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

1. Energia elétrica. 2. Power Line Communication. 3. Linhas elétricas. I. Teixeira, Eliézer Alves (orientação). II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. III. Título.

CDD 621.319 2



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS GOIÂNIA

TAINÁ MARQUES CABRAL

**ANÁLISE DE RADIOINTERFERÊNCIA DO POWER LINE COMMUNICATION (PLC)
NO SISTEMA DIGITAL RADIO MONDIALE (DRM)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, como parte das exigências para obtenção do Título de Engenheira Eletricista.

Goiânia, 09 de fevereiro de 2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Eliézer Alves Teixeira

Orientador - IFG/Câmpus Goiânia

Prof. Dr. Arquimedes Lopes da Silva

Membro da Banca Examinadora - IFG/Câmpus Goiânia

Prof. Dr. João Batista José Pereira

Membro da Banca Examinadora - IFG/Câmpus Goiânia

Documento assinado eletronicamente por:

- **Arquimedes Lopes da Silva**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 15/03/2022 12:07:50.
- **João Batista José Pereira**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 14/03/2022 08:08:16.
- **Eliézer Alves Teixeira**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 12/03/2022 18:47:47.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 11/03/2022. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 256223

Código de Autenticação: e6b4426209



AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me abençoar durante todo o período de graduação, com saúde, força, entendimento e perseverança.

Agradeço também à minha família, que me apoiou, esteve presente em todo o processo e disposta a me auxiliar em tudo que estava ao seu alcance. Meu sincero agradecimento ao meu professor orientador, Eliézer Alves Teixeira, por toda disponibilidade, incentivo e aprendizado e ao integrante do DRM-Brasil, Francisco Braccini, por contribuir imensamente com a pesquisa.

Sou grata ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás e ao corpo docente do curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica pelo qualificado e dedicado ensino.

Tainá Marques Cabral

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família que me apoiou, incentivou e encorajou a nunca desistir dos meus sonhos.

EPÍGRAFE

“Existem coisas melhores adiante do que qualquer outra que deixamos para trás.”

(C. S. Lewis)

RESUMO

O uso de tecnologias distintas em um mesmo ambiente é uma realidade atual. Este trabalho apresenta a investigação do uso do Rádio Digital Mundial, no horário de sua transmissão, no mesmo ambiente em que uma rede PLC (*Power Line Communication* - Comunicação via Rede Elétrica) está em funcionamento, por meio da análise das interferências eletromagnéticas geradas de forma não intencional pelo sistema PLC. Através do instrumento Analisador de Espectros, a apresentação dos resultados verifica a compatibilidade eletromagnética do PLC, ou seja, sua capacidade de funcionar em seu ambiente eletromagnético sem introduzir perturbações eletromagnéticas intoleráveis a outros equipamentos naquele ambiente. Para isso foi realizada a montagem de um ambiente de testes no IFG (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás), *Campus Goiânia*, para verificar os resultados.

Palavras-chave: *Power Line Communication*; Rádio Digital Mundial; Analisador de Espectros; Compatibilidade Eletromagnética.

ABSTRACT

The use of different technologies in the same environment is a present reality. This work presents the investigation of the use of Digital Radio Mondiale, at the time of broadcasting, in the same environment where a PLC (Power Line Communication) network is operating, through the analysis of electromagnetic interference unintentionally generated by the PLC system. Through the Spectrum Analyzer instrument, the presentation of the results verifies the electromagnetic compatibility of the PLC, that is, its ability to function in its electromagnetic environment without introducing intolerable electromagnetic disturbances to other equipment in that environment. For this, a test environment was set up at the Federal Institute of Education, Science and Technology of Goiás - Campus Goiânia, to verify the results.

Keywords: *Power Line Communication; Digital Radio Mondiale; Spectrum Analyzer; Electromagnetic Compatibility.*

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1. Limites de radiações indesejadas causadas por sistemas BPL de RBT	2
Tabela 2.1. Limites de emissões radiadas	19
Tabela 3.1. Sinais do DRM através do Analisador de Espectros - Com e Sem PLC	28
Tabela 3.2. Sinais do DRM – Rádio Romênia (9,49 MHz) - com e sem PLC	31

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 - Estrutura de pilha de protocolos de um sistema PLC IEEE 1901.2	9
Figura 2.2 - Possível topologia de uma rede de alimentação de baixa tensão	10
Figura 2.3 - Influência do parâmetro RBW na medição	14
Figura 2.4 - Influência do parâmetro VBW na medição.....	14
Figura 2.5 - Influência do SWT na medição.....	15
Figura 2.6 - Ionosfera, camadas e a interação com as ondas de rádio emitidas por um transmissor	18
Figura 3.1 - PLC (<i>Power Line Communication</i>)	22
Figura 3.2 - DRM (<i>Digital Radio Mondiale</i>)	23
Figura 3.3 - Analisador de Espectros	24
Figura 3.4 - Ambiente de Testes	25
Figura 3.5 - Teste 1	26
Figura 3.6 - Teste 2	27
Figura 3.7 - Teste 3	27
Figura 3.8 - Teste 4	28
Figura 3.9 - Teste 5	29
Figura 3.10 - Teste 6	29
Figura 3.11 - Teste 7	31
Figura 3.12 - Teste 8	31

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AM	<i>Amplitude Modulation</i> - Modulação em Amplitude
AM - AMSS	<i>Amplitude Modulation Signalling System</i> - Sistema de Sinalização de Modulação de Amplitude
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
BER	<i>Bit Error Rate</i> - Taxa de Bits Errados
BPL	<i>Broadband over Power Line</i> - Banda Larga sobre Linha de Energia
CELG	Companhia Energética de Goiás
CEM	Compatibilidade Eletromagnética
CENELEC	<i>Comité Européen de Normalisation</i> - Comitê Europeu de Normalização
CISPR	<i>Comité International Special des Perturbations Radioeetriques</i> - Comitê Internacional Especial de Perturbações Radioelétricas
COFDM	<i>Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex</i> - Multiplexação por Divisão de Frequências Ortogonais Codificadas
COPANT	<i>Pan American Standart Commission</i> - Comissão Padronizada Pan-Americana
DAB	<i>Digital Audio Broadcasting</i> - Emissão de Áudio Digital
dB μ V/m	Decibel Microvolt por Metro
DLC	<i>Digital Line Communication</i> - Comunicação de Linha Digital
DRM	<i>Digital Radio Mondiale</i> - Rádio Digital Mundial
EMC	<i>Electromagnetic Compatibility</i> - Compatibilidade Eletromagnética
EMI	<i>Electromagnetic Interference</i> - Interferência Eletromagnética
FM	<i>Frequency Modulation</i> - Modulação em Frequência
GHz	<i>Gigahertz</i>
HF	<i>High Frequency</i> - Alta Frequência
Hz	<i>Hertz</i> - Unidade de frequência
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i> - Comissão Eletrotécnica Internacional
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i> - Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos
IFG	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
ITU	<i>International Telecommunication Union</i> - União Internacional de Telecomunicação
kHz	<i>Kilohertz</i>

kW	<i>Kilowatts</i>
LW	<i>Long Wave</i> - Onda Longa
LF	<i>Low Frequency</i> - Baixa Frequência
m	Metro
mm	Milímetro
MAC	<i>Media Access Control</i> - Controle de Acesso ao Meio
MHz	<i>Megahertz</i>
MPEG	<i>Moving Picture Experts Group</i> - Grupo de Especialistas em Imagens com Movimento
$\mu\text{V/m}$	Microvolt por Metro
MW	<i>Medium Wave</i> - Onda Média
OFDM	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplex</i> - Multiplexação por Divisão de Frequências Ortogonais
PLC	<i>Power Line Communication</i> - Comunicação via Rede Elétrica
PLT	<i>Power Line Telecommunication</i> - Telecomunicação via Rede Elétrica
P2P	<i>Peer to Peer</i> - Ponto a Ponto
QAM	<i>Medium Wave</i> - Onda Média
RBT	Rede de Baixa Tensão
RBW	<i>Resolution Bandwidth</i> - Resolução de Largura de Banda
RDS Radio	<i>Data System</i> - Sistema de Dados de Rádio
RF	<i>Radio Frequency</i> - Radiofrequência
RFI	<i>Radio Frequency Interference</i> - Interferência de Radiofrequência
RFDI	<i>Radio Frequency Identification</i> - Identificação por Radiofrequência
RI	<i>Radio Interference</i> - Rádio Interferência
SNR	<i>Signal Noise Rate</i> - Relação Sinal-Ruído
SW	<i>Short Wave</i> - Onda Curta
SWT	<i>Sweep Time</i> - Tempo de Varredura
TIC's	Tecnologias de Informação e Comunicação
UIT	União Internacional de Telecomunicações
UTP	<i>Unshielded Twisted Pair</i> - Cabo por par trançado
VBW	<i>Video Bandwidth</i> - Largura de Banda de Vídeo
VHF	<i>Very High Frequency</i> - Frequência Muito Alta

SUMÁRIO

FICHA CATALOGRÁFICA.....	IV
FICHA DE APROVAÇÃO DA BANCA EXAMINADORA	V
AGRADECIMENTOS	VI
DEDICATÓRIA	VII
EPÍGRAFE.....	VIII
RESUMO.....	IX
ABSTRACT	X
LISTA DE TABELAS	XI
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	XII
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	XIII
SUMÁRIO.....	XV
1. INTRODUÇÃO	1
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	4
2.1. DIGITAL RADIO MONDIALE (DRM)	4
2.1.1. OPERACIONALIZAÇÃO DO DRM	5
2.1.2. VANTAGENS DO DIGITAL RADIO MONDIALE (DRM)	6
2.1.3. AS EMISSORAS DE DRM QUE PODEM SER RECEBIDAS NO BRASIL.....	7
2.2. POWER LINE COMMUNICATION (PLC).....	7
2.2.1. FUNCIONAMENTO DO PLC	8
2.2.2. TIPOS DE PLC	11
2.2.2.1. PLC INDOOR.....	11
2.2.2.2. PLC OUTDOOR.....	12
2.3. ANALISADOR DE ESPECTROS	12
2.3.1. FAIXA DE FREQUÊNCIA.....	13
2.3.2. RESOLUTION BANDWITH (RBW).....	13
2.3.3. VIDEO BANDWIDTH (VBW)	14
2.3.4. SWEEP TIME (SWT).....	14
2.4. COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA	15
2.5. AMBIENTE ELETROMAGNÉTICO	16
2.6. ANTENAS E PROPAGAÇÃO	16
2.7. RADIOINTERFERÊNCIA NÃO INTENCIONAL	17
2.8. SNR (SIGNAL NOISE RATE).....	17
2.9. BER (BIT ERROR RATE - TAXA DE BITS ERRADOS).....	18
2.10. CAMADA IONOSFERA E SINAL DE RÁDIO	18

2.11.	RECOMENDAÇÃO K60	19
2.12.	REDE PEER TO PEER.....	19
3.	METODOLOGIA.....	21
3.1.	MATERIAIS UTILIZADOS	22
3.1.1.	PLC	22
3.1.2.	DRM.....	23
3.1.3.	ANALISADOR DE ESPECTROS	24
3.1.4.	OUTROS MATERIAIS	24
3.2.	MONTAGEM DO AMBIENTE DE TESTES.....	25
3.3.	RESULTADOS	25
4.	CONCLUSÃO.....	33
5.	REFERÊNCIAS	34

1. INTRODUÇÃO

O trabalho em questão, intitulado: “Análise de Radiointerferência do *Power Line Communication* (PLC) no Sistema *Digital Radio Mondiale* (DRM)”, aborda conceitos, características do funcionamento, benefícios, entre outros aspectos destes sistemas.

Em relação à utilização da tecnologia do PLC (*Power Line Communication* - Comunicação via Rede Elétrica), também chamado de BPL (*Broadband Powerline Communications* - Banda Larga sobre Linha de Energia), PLT (*Powerline Telecommunication* - Telecomunicação via Rede Elétrica) ou DLC (*Digital Line Communication* - Comunicação de Linha Digital), o usuário pode aproveitar a rede de energia elétrica já instalada, para que esta atue como uma rede de banda larga.

Deste modo, o uso do PLC pode ser afirmado como uma alternativa, uma possibilidade, que tem crescido muito.

Importante mencionar que o PLC é também um agente para inclusão digital (DA SILVA, 2006), uma vez que, através dele, a internet pode funcionar até mesmo em áreas remotas. Apesar de tal relevância, o presente estudo não irá permear a vertente de investigação social, mas técnica.

Ao realizar uma busca a respeito da temática, foi possível perceber nos estudos de Teixeira et al. (2007), que houve interferências quando o PLC foi instalado no mesmo ambiente em que sistemas de radiocomunicação e receptores de transmissão que estavam em operação.

A Resolução 527/2019 publicada pela ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações), dia 13 de abril de 2009 estabelece que:

Art. 2º A comunicação a ser estabelecida pelo sistema BPL, confinada nas redes de energia elétrica, somente poderá ocorrer na faixa de radiofrequências de 1,705 MHz a 50 MHz.

Art. 3º Os equipamentos que compõem o sistema BPL serão tratados como equipamentos de radiocomunicação de radiação restrita e operam em caráter secundário (ANATEL, 2009).

Ou seja, esses equipamentos não tem direito a proteção contra interferência que prejudica seu funcionamento e não podem interferir em sistemas, como por exemplo, o DRM (*Digital Radio Mondiale* - Rádio Digital Mundial), que operam em caráter primário.

Essa Resolução também limita as interferências indesejadas, para baixas, médias e altas tensões, no entanto, para este estudo serão apresentadas somente os limites de radiações causadas pelo PLC em redes de baixa tensão (RBT), que se expressam na Tabela 1.1.

Tabela 1.1 - Limites de radiações indesejadas causadas por sistemas BPL de RBT (ANATEL, 2009).

Faixa de Frequência (MHz)	Intensidade de Campo ($\mu\text{V/m}$)	Distância da Medida (m)
1,705 - 30	30	30
30 - 50	100	3

O que denota a refletir a respeito da seguinte questão: “O PLC gera interferências no funcionamento de outros equipamentos de telecomunicações, quando está em operação no mesmo ambiente que estes. Será que o mesmo se dará no rádio digital?”.

A partir desta problemática o trabalho em questão propõe o seguinte objetivo: verificar a EMC (*Electromagnetic Compatibility* - Compatibilidade Eletromagnética) do PLC, ou seja, sua capacidade de funcionamento em seu ambiente eletromagnético, sem introduzir perturbações eletromagnéticas intoleráveis a outros equipamentos naquele ambiente, através da análise da radiointerferência da tecnologia PLC no mesmo ambiente do uso do sistema DRM.

Arelados a este, são propostos os seguintes objetivos específicos: implementar uma rede PLC no mesmo ambiente de operação do DRM; analisar o espectro na faixa de HF (*High Frequency* - Alta Frequência) do DRM com e sem o PLC em funcionamento, especificamente nos canais de operação do DRM; verificar o nível de interferência do PLC com o DRM; construção de artigo científico para descrição dos testes que foram realizados e os respectivos resultados.

Inicialmente foi realizada uma revisão bibliográfica tomando como base, artigos científicos de autores estudiosos desta temática, bem como, documentos de Organizações pertinentes para embasamento e fundamentação da presente pesquisa. Foram utilizados os seguintes: ANATEL (2009), Bonfim (2003), Braccini (2021), Camargo (2010), Campos (2015), Cardoso (2018), Colvero, Carneiro e Cunhas (2008), Da Silva (2006), Diniz (2011), DRM CONSORTIUM (2021), Hrasnica, Haidine, Lehnert (2004), Laflin, Martins (2016), Leão (2008), Moreno (2019), ORG-DRM (2021), Pereira Filho (2015), Riveros, Sônego, Wonzoski (2017), Rocha, et. al. (2004), Rohde & Schwarz (2022), Senna Filho (2011), Silveira (2016), Teixeira et al. (2007, 2008 e 2016), Ward (2020), Zink (2020), entre outros.

Ao iniciar as pesquisas voltadas a essa temática foi possível perceber o fato de que várias pesquisas investigaram o funcionamento do DRM e do PLC separadamente. Teixeira et al. (2007) aborda a realização de um estudo experimental conduzido pela ANATEL em parceria com a CELG (Companhia Energética de Goiás), na região centro-oeste do Brasil, em linhas de energia de baixa e média tensão, onde foi possível perceber a necessidade de se estabelecer

condições para a coexistência entre sistemas de comunicação de alta frequência. Ficou demonstrado que a operação do PLC emite sinais que requerem técnicas de mitigação, que possibilitam sua presença concomitante com outros sistemas de telecomunicações operados em uma mesma faixa de frequência.

Outros estudos de Teixeira et al. (2007; 2016) demonstraram que a rede de energia elétrica funciona como um sistema de radiação, semelhante a uma antena que irradia ondas eletromagnéticas no ambiente, podendo ser uma fonte potencial de interferências nas proximidades, perturbando os demais sistemas de radiocomunicações e serviços operados na mesma faixa de frequência.

Portanto, aqui se propõe o objetivo de analisar a operação de ambos (DRM e PLC), no mesmo ambiente, a fim de se verificar se haverá interferências prejudiciais.

A abordagem escolhida para a pesquisa é a quantitativa (THOMAS, 2007). Seguida pela realização da pesquisa de campo experimental (MARCONI E LAKATOS, 2002), através da montagem de um ambiente de testes, no IFG (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás) – *Campus Goiânia*. Posteriormente foram realizadas a descrição, análise e tratamento dos dados, através do instrumento Analisador de Espectro *Rohde & Schwarz FSH HANDHELD SPECTRUM ANALYZER*.

Diante disso, acredita-se que tal pesquisa tem grande relevância para a área da Engenharia Elétrica, bem como para o setor de comunicações e para a sociedade.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo tratará dos conceitos teóricos, dos equipamentos e fenômenos relacionados ao trabalho, entre eles: compatibilidade eletromagnética, ambiente eletromagnético, antenas e propagação; DRM, sua operacionalização, vantagens, as emissoras que podem ser recebidas no Brasil; PLC) e seu funcionamento; Analisador de Espectros e seus parâmetros (faixa de frequência, RBW (*Resolution Bandwidth* - Resolução de Largura de Banda), VBW (*Video Bandwidth* - Largura de Banda de Vídeo), BER (*Sweep Time* - Tempo de Varredura); Radiointerferência não intencional; Ionosfera e sinal de rádio; Recomendação K60 e P2P (Rede *Peer to Peer* - Ponto a ponto). Que serão abordados a seguir.

2.1. DIGITAL RADIO MONDIALE (DRM)

O rádio digital, “*Digital Radio Mondiale*” (DRM) ou em português, “Rádio Digital Mundial” (RDM):

é o sistema de transmissão digital universalmente padronizado para todas as frequências de transmissão, incluindo as bandas AM (LW, MW, SW), bem como as bandas VHF I, II - (banda FM) e III [...]. O Consórcio *DRM (Digital Radio Mondiale)* é uma organização internacional sem fins lucrativos organização composta por emissoras, provedores de rede, transmissor e fabricantes de receptores, universidades, sindicatos de radiodifusão e institutos de pesquisa. Seu objetivo é apoiar e difundir um sistema de transmissão digital adequado para uso em todas as bandas de frequência até VHF Banda III (ORG-DRM, 2021, p.1).

Segundo Ward (2020), este sistema foi organizado para substituir de maneira digital e com alta qualidade as transmissões de rádio analógico nas bandas AM (*Amplitude Modulation* - Modulação em Amplitude), FM (*Frequency Modulation* - Modulação em Frequência) e VHF (*Very High Frequency* - Frequência Muito Alta) possibilitando que as canalizações e alocações de espectro já utilizadas possam ser mantidas.

O DRM consiste em:

um padrão de rádio digital reconhecido pela UIT (União Internacional de Telecomunicações) que pretende ser adotado mundialmente, sendo o único que funciona em todas as bandas de radiodifusão sonora terrestre. As faixas de frequência definidas incluem as faixas nas quais tradicionalmente se usa modulação em amplitude: Ondas Longas, Ondas Médias, Ondas Tropicais, Ondas Curtas, e as faixas onde estão as transmissões em frequência modulada: VHF Bandas I e II (DINIZ, 2011, p. 1).

De acordo com a ORG-DRM (2021), o DRM possui uma qualidade melhor em relação ao conteúdo de áudio, tornando-o mais claro e amplo, e, em comparação ao rádio analógico é também mais econômico. Facilita a utilização do som, traz a este uma qualidade digital, bem como, recursos aprimorados e variados, entre eles: som surround, texto do *Journaline*, *slides* e serviços de dados.

Diante do exposto surge a seguinte questão: “Como o DRM pode ser operacionalizado?”.

2.1.1. OPERACIONALIZAÇÃO DO DRM

De acordo com a ORG-DRM (2021), o padrão DRM pode ser descrito de diversos modos operacionais, dependendo dos conjuntos de parâmetros de modulação para a transmissão física, subdivididos em um grupo para transmissões de DRM abaixo de 30 MHz e em outro acima de 30 MHz. O DRM é o único sistema que opera em todas as bandas de radiodifusão sonora terrestre disponível no mundo (ORG-DRM, 2021). As Bandas de Frequências disponíveis de acordo com o DRM Consortium (2021), utilizadas pelo DRM são:

- Ondas Médias: 526,5 kHz a 1606,5 kHz;
- Ondas Curtas: 3 MHz e 30 MHz (mesma faixa de frequência utilizada pelo PLC);
- VHF:
 - Banda I: Atualmente alocada para transmissão de TV analógica (desligamento previsto para 2023, mas deve ser antecipado), entre 47 MHz a 68 MHz;
 - Banda II: A atual banda do FM, entre 87,5 MHz a 108 MHz;
 - Banda III: Atualmente alocada para transmissão de TV, entre 174 MHz a 230 MHz.

Diniz (2011) explicita que o DRM, para além do áudio apresenta ainda serviços adicionais, entre eles: a transmissão de diversos tipos de informação (que possuem decodificação mandatória ou recomendada), tais como: alerta de emergência, Guia de Programação Eletrônico, nome da estação no display e mensagens de texto, bem como, o suporte a chaveamento automático de frequência alternativa, entre sinais DRM, AM-AMSS (*Amplitude Modulation Signalling System* - Sistema de Sinalização de Modulação de Amplitude), FM, DAB (*Digital Audio Broadcasting* - Emissão de Áudio Digital). Já nos formatos de carrossel de dados e tempo real possibilita a transmissão de *slideshow*, textos, *website offline* (*hyperlinks* e imagens), serviço de dados (*Journaline* desenvolvido pelo *Fraunhofer Institute* para trazer interatividade ao rádio, comparando-se a uma revista eletrônica

que pode controlar os elementos visuais da tela do receptor através de comandos do canal de dados), serviços de dados privados que também permitem a compatibilidade e execução simultânea, mesmo quando os serviços utilizados forem de tipos diferentes (por exemplo, 3 serviços de áudio e 1 de *slideshow*).

O sistema DRM usa *COFDM* (*Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex*). Isso significa que todos os dados, produzidos a partir do áudio codificado digitalmente e dos sinais de dados associados, são compartilhados para transmissão em um grande número de portadoras próximas. Todas essas portadoras estão contidas no canal de transmissão designado. A intercalação de tempo é aplicada para mitigar o desbotamento. Vários parâmetros do OFDM e da codificação podem ser variados para permitir que o DRM opere com sucesso em muitos ambientes de propagação diferentes - a seleção dos parâmetros permite que as transmissões sejam planejadas para encontrar a melhor combinação de potência de transmissão, robustez e capacidade de dados. O sistema DRM usa *codecs* de áudio MPEG para fornecer alta qualidade com taxas de dados baixas (ORG-DRM, 2021, p.1)

2.1.2. VANTAGENS DO DIGITAL RADIO MONDIALE (DRM)

A ORG-DRM (2021) apresenta em seu site algumas vantagens e benefícios do DRM, dentre eles:

- É um padrão de rádio digital global, onde seus serviços de transmissão podem operar mundialmente, além de ser reconhecido em todas as bandas de frequência;
- O DRM consiste em um padrão de rádio digital aberto, no qual nenhuma empresa é proprietária de sua tecnologia, podendo ser implementado por qualquer pessoa;
- Sua transmissão permite até três sinais de áudio e dados em uma única frequência, utilizando assim o espectro de maneira mais eficiente;
- As emissoras operam seus transmissores de maneira independente, não precisando compartilhar um grande multiplex com concorrentes;
- Muitos transmissores analógicos podem ser convertidos para DRM com custos modestos mantendo sua infraestrutura com adição de antenas;
- Informações, aviso, educação, alertas de emergência, entre outros podem ser transmitidos a todos os ouvintes de um país independente de sua área e localização geográfica, trazendo acessibilidade e inclusão digital aos cidadãos (ORG-DRM, 2021).

Uma vez que o DRM possibilita alta qualidade com taxas de dados baixas pode-se trazer à tona a seguinte reflexão que motiva o presente trabalho. Diversas pesquisas já foram

realizadas utilizando-se o rádio analógico e o PLC, mas com base em pesquisas realizadas pelos autores da presente pesquisa, não foram encontrados estudos que se referem a utilização simultânea do Rádio Digital e o PLC.

Para adentrar tal reflexão e ir mais a fundo nesta temática serão explicitados a seguir o conceito, funcionalidade e outros aspectos relevantes do PLC para melhor desenvolvimento e compreensão deste trabalho.

2.1.3. AS EMISSORAS DE DRM QUE PODEM SER RECEBIDAS NO BRASIL

Segundo Braccini (2021), integrante do DRM-Brasil, “as emissoras DRM que podem ser atualmente recebidas no Brasil, em prol do desenvolvimento dos testes são” (informação verbal)¹:

- Rádio Romênia Internacional 9490 kHz DRM das 19 às 20h – Espanhol;
- Rádio Nacional da China 9655 kHz DRM das 6 às 7h - Mandarin. (Horários de Brasília);

Ambas em 16-QAM no MSC e 11,60 Kbps de taxa de transmissão em canal único de áudio.

- Rádio KTWR GUAM 15200 KHz DRM das 6:57 - 7:57h - Tâmil/Inglês (com imagens);
- *All India Radio* 9620 KHz DRM das 16:30 - 17:30h - Francês/Indiano (duas estações na mesma frequência).

2.2. POWER LINE COMMUNICATION (PLC)

A tecnologia PLC e seu conceito:

[...] está diretamente ligado a uma tecnologia na qual permite usar redes elétricas para transmissão de dados, tais como serviços de voz ou banda larga [...]. O acesso de banda larga sobre a rede elétrica resume-se em enviar o sinal de internet ou voz no mesmo fio (rede elétrica) de energia elétrica, para isso os sinais de banda larga e energia elétrica são enviados na rede (fiação elétrica) com uma frequência diferente, desse modo a tecnologia *PLC* é capaz de transmitir sinais de banda larga e energia elétrica no mesmo ambiente (Rede Elétrica) (CAMARGO, 2010, p.2).

¹ Fala de Francisco Braccini, integrante do DRM-Brasil em reunião realizada no IFG com os Autores dessa pesquisa, no dia 18 de dezembro de 2021.

O conceito de PLC surgiu em 1991, a partir de sua criação pelo Dr. Paul Brown que iniciou a realização de experimentos com a comunicação de dados através de vias de redes elétricas, a partir de então, deu continuidade a tais experimentos buscando aprimorar tal tecnologia, com o intuito de transmitir os dados digitais com altas velocidades através da rede elétrica (CAMARGO, 2010).

Nas últimas décadas o setor de telecomunicações vem crescendo rapidamente e acompanhado da necessidade de desenvolvimento de novidades em suas redes e tecnologias de transmissão. Várias empresas deste seguimento vêm construindo redes bastante velozes, garantindo a realização de uma vasta variedade de serviços e um alcance mundial. Para tal, a maioria dos investimentos na área requer grandes orçamentos e mesmo com a desregulamentação das telecomunicações em vários países, as redes de acesso ainda permanecem como propriedade de companhias monopolistas. Por isso, novos provedores têm buscado construir novas redes de acesso com baixo custo. Nesse contexto, uma solução alternativa para que os provedores possam oferecer sua própria rede de acesso é o PLC, que utiliza para as comunicações a grade de alimentação (HRASNICA, HAIDINE, LEHNERT, 2004).

“É uma tecnologia que utiliza a rede de energia elétrica para transmitir dados em banda larga; alguns pesquisadores, no entanto, usam outras nomenclaturas, como DLC (Digital Line Communication), que é *PLC* para aplicações de automação doméstica” (TEIXEIRA et al., 2008, p.1).

A possibilidade de utilização da rede elétrica como transmissora de dados gera motivação as comunidades industriais e científicas, no sentido de buscarem soluções para superação dos desafios relacionados ao tráfego de informações em meios diferentes daqueles pensados originalmente (SILVEIRA, 2016).

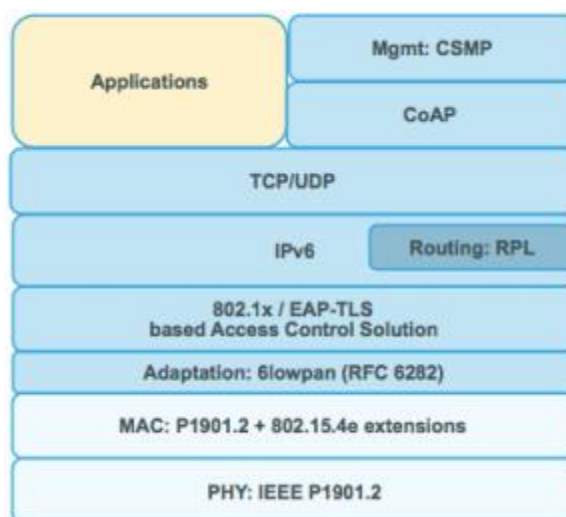
Segundo Hrasnica, Haidine e Lehnert (2004), o PLC utiliza redes de alimentação de baixa tensão para transmissão e funciona como uma antena produtora de emissão eletromagnética que interfere nos serviços de comunicação que operam em sua mesma faixa de frequência, de 1,705 até 30 MHz. Com isso é necessário que esse sistema opere seu sinal com uma potência limitada tornando-o sensível a distúrbios.

2.2.1. FUNCIONAMENTO DO PLC

Para funcionamento do PLC se faz necessária,

a implementação dos componentes principais de um sistema PLC dá-se nas camadas 1 e 2 do modelo de referência OSI, respectivamente, camadas física e enlace (*International Organization for Standardization*, 1996). A figura [...] mostra a implementação de um sistema PLC do ponto de vista da pilha de protocolos. Nela, é representado um sistema PLC para internet das Coisas que utiliza os protocolos de PLC IEEE 1901.2, para camada física e enlace (IEEE-SA, 2013 *apud* SILVEIRA, 2016, p.13).

Figura 2.1 - Estrutura de pilha de protocolos de um sistema PLC IEEE 1901.2 (Cisco Developer Network *apud* SILVEIRA, 2016)



A camada física irá condicionar dados binários para que sejam transmitidos na rede elétrica (MALATHI; VANATHI *apud* SILVEIRA, 2016), enquanto a camada de enlace ligará os dois nós adjacentes à subcamada MAC (*Media Access Control* - Controle de Acesso ao Meio), responsável em controlar o acesso ao meio e acumulada de serviços, tais como, enquadramento de pacotes, entrega confiável, controle de fluxo, detecção e correção de erros (IEEE-AS *apud* SILVEIRA, 2016).

“A viabilidade econômica e operacional do uso desta tecnologia está na atual disponibilidade de equipamentos e soluções de PLC de baixo custo, além da utilização da infraestrutura de rede de energia já instalada” (ZAHARIADIS; PRAMATARIS *apud* TEIXEIRA, 2008, p.1).

Outro aspecto relevante e benéfico da implementação do PLC refere-se à inclusão social, que tem sido tema de diversas discussões sociais, políticas e acadêmicas no tempo presente e conceitua-se por “todo conjunto de ações com objetivo de oferecer aos indivíduos oportunidades iguais de acesso a bens e a serviços” (MORENO, 2019, p.4). Um de seus contextos adentra a questão da inclusão digital como ferramenta para inclusão social.

Esta apresenta-se como “um estado da arte dos sistemas de comunicação através da rede

elétrica no Brasil e no mundo e seu potencial como ferramenta de Inclusão Digital” (DA SILVA, 2006, p. 9).

Tem sido crescente o número de estudos voltados a esta temática, uma vez que as TIC's (Tecnologias de Informação e Comunicação) tornam-se cada vez mais imprescindíveis a atual sociedade. Segundo Moreno (2019, p.4) “a inclusão digital, trata-se das ações que tentam garantir às pessoas o acesso e o bom uso das tecnologias de informação e comunicação (TIC)”.

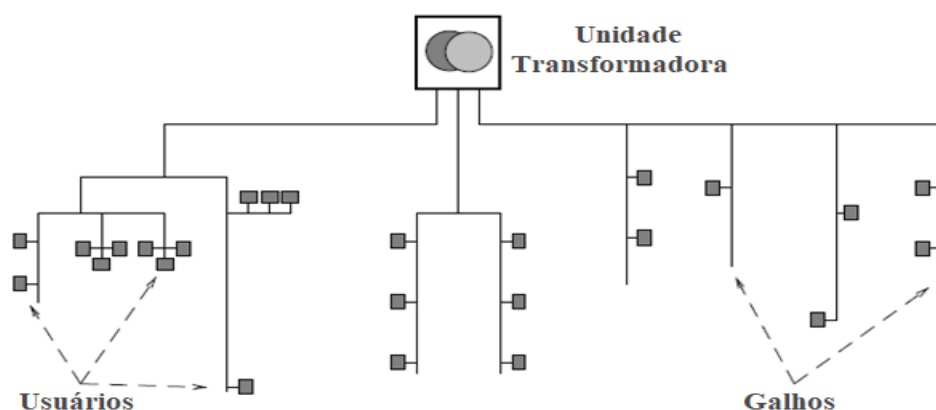
Para propagar e socializar a informação, nos mais diversos locais com maior velocidade de transmissão e baixo custo, multiplicam-se as redes de transmissão de sinais de dados, cada vez mais presentes em nosso cotidiano, especialmente através das novas tecnologias. Dentre elas, destaca-se a transmissão de dados através das Redes de Energia Elétrica (*Power Line Communications-PLC*) (RIVEROS, SONEGO, WONZOSKI, 2017, p. 1).

O uso da comunicação em banda larga, principalmente no que diz respeito ao acesso à internet, à informação e conexão de dados, voz, imagens, principalmente pelas redes sociais, cresce a cada dia mais, e o PLC é uma excelente alternativa para os mais diversos ambientes.

Hrasnica, Haidine, Lehnert (2004) enfatizam que o PLC apresenta quatro características específicas a serem observadas/ consideradas, dentre elas, a topologia de rede que pode se dar em diferentes realizações de acesso, onde, uma rede de alimentação de baixa tensão será utilizada como meio de transmissão e poderá ser organizada de maneiras diferentes, por exemplo, com relação a posição da estação base e a segmentação da rede influenciando sua operação, onde os elementos adicionados também são analisados. A topologia depende da localização de rede, da densidade do assinante, do comprimento da rede e de seu projeto.

A Figura 2.2 apresenta uma possível estrutura de rede PLC:

Figura 2.2 - Possível topologia de uma rede de alimentação de baixa tensão (HRASNICA, HAIDINE, LEHNERT, 2004).



Geralmente, existem vários ramos (seções de rede) conectando a estação de transformador com os usuários finais. Cada filial pode ter uma topologia diferente conectando um número variável de usuários. Os usuários podem estar mais ou menos concentrados, podendo ser distribuídos de forma simétrica ou assimétrica ao longo da rede de baixa tensão ou ao longo de seus ramais. Também existe uma diferença entre os comprimentos dos ramos. Ambas as redes de baixa tensão e suas ramificações têm uma topologia de árvore física (HRASNICA, HAIDINE, LEHNERT, 2004).

Neste contexto, as demais características mencionadas por Hrasnica, Haidine, Lehnert (2004) a serem consideradas compreendem:

- Canal de transmissão de *PLC* (rede de alimentação de baixa tensão);
- Problema de compatibilidade eletromagnética;
- Ruídos causadores de distúrbios nas redes *PLC*.

Diante disso, pode-se ressaltar o que aborda Silveira (2016), a utilização do *PLC* como sendo grande desafio, uma vez que, essa tecnologia tem seu funcionamento mediante a rede de energia elétrica e possui desafios como os de minimizar as degradações no sinal onde há o desvanecimento em frequência e variantes no tempo e a possibilidade de que este seja atenuado dependendo das condições de distância, frequência, ruídos potentes e impulsivos e quando na impedância de acesso surge variações temporais.

2.2.2. TIPOS DE PLC

2.2.2.1. PLC *INDOOR*

Os estudos de Machado (2013), Pereira et al. (2010) e Pilarski (2015), Cardoso (2018) apresentam por conceito e características do *PLC indoor*, o seguinte:

A tecnologia *PLC*, também conhecida como *Power Line Indoor Communications* (*PLIC*), pode ser transmitida dentro das residências, nesse sentido, Machado (2013), a condução que utiliza a rede elétrica interna é conhecida como *indoor*, ou seja, ocorre na parte interna do prédio ou apartamento. Pereira et al. (2010) explicam o funcionamento da *PLC indoor*. Para os autores, dentro das residências se instala um equipamento switch, que terá a função de realizar a conversão do óptico em uma saída UTP. Deste modo, tal cabo é conectado a outro equipamento, o MASTER, que é instalado na Caixa de Distribuição, “que se acopla aos ramais de carga dos medidores, assim o sinal *PLC* fica disponível em toda a estrutura elétrica ligada ao circuito desse transformador fazendo com que qualquer tomada de energia se transforme num ponto da rede *PLC*” (PEREIRA et al., 2010, p. 13). Assim, na outra ponta do sistema, é conectado um modem a uma tomada, para que se receba o sinal a ser transmitido pelo MASTER. A função deste modem é decodificar os sinais elétricos em sinais de informação. Por complemento, para Pilarski (2015), a delineação *indoor* é compreendida como sendo o perímetro que vai desde o medidor de energia do usuário

final até as tomadas presentes no interior do imóvel, onde será usado. Por isso, pode ser preciso instalar algum equipamento repetidor de sinal na entrada do medidor de energia

O que denota que o PLC *indoor* transforma qualquer tomada de energia presente na residência ou em outro ambiente interno em um ponto de rede.

2.2.2.2. PLC OUTDOOR

Ainda segundo Cardoso (2018), a partir dos estudos de Silva, Santos Junior (2010) e Pilarski (2015), o PLC também pode ser do tipo *outdoor*, conforme explicita:

Power Line Outdoor Communication (PLOC) é referente à parte externa da tecnologia PLC, ou seja, onde a transmissão é conduzida usando a rede pública exterior. Com o uso da tecnologia outdoor, é possível ainda a conexão de aparelhos de som e vários outros eletroeletrônicos em rede (SILVA; SANTOS JUNIOR, 2010). Segundo Pilarski (2015, p. 14) “a topologia Outdoor é constituída pela rede elétrica que vai desde o transformador de distribuição (baixa tensão) até o medidor de energia”. Esse tipo de tecnologia é composta pelo MASTER, (chamada também de Head-End). A função deste aparelho é recepcionar e transformar os dados recebidos pela óptica em sinal PLC. Neste sentido, realiza também a injeção deste sinal no barramento da rede de distribuição. Outrossim, as linhas de transmissão que são usadas nesta ocasião as de baixa e média tensão.

Características essas que se resumem no fato de que a transmissão dos dados é feita através da rede pública externa de energia elétrica.

2.3. ANALISADOR DE ESPECTROS

O analisador de espectros consiste em:

um instrumento utilizado para a análise de sinais alternados no domínio da frequência. Possui certa semelhança com um osciloscópio, uma vez que o resultado da medida é apresentado em uma tela, tendo a amplitude na vertical e a frequência na horizontal. Um analisador de espectros é essencialmente um receptor de rádio passivo, com uma interface gráfica (display) para a análise e medida do sinal no domínio da frequência. Os analisadores de espectros indicam geralmente a informação contida no sinal de forma direta, tais como a tensão, a potência, o período e a frequência (BONFIM, 2003, p.1).

O grupo *Rohde & Schwarz* (2022), empresa alemã com filiais em diversos países, fabricante de produtos de tecnologia, informação e comunicação, respondendo à pergunta “O que é um analisador de espectro” menciona:

Um analisador de espectro faz o que seu nome já sugere: ele detecta os sinais presentes em um intervalo determinado de um espectro. Sua função básica é representar os sinais em uma exibição gráfica como amplitude — ou nível de potência — no eixo y pela frequência no eixo x; as amplitudes de sinais detectados são representadas no domínio de frequência. Um analisador de espectro de RF cobre frequências de rádio e de micro-ondas. O intervalo de frequências máximo disponível atualmente com seleção prévia é entre 2 hertz e 85 GHz; frequências mais altas são possíveis com misturadores externos. Geralmente, uma escala linear é utilizada para a frequência no eixo x e uma escala em decibéis, logarítmica (unidade mais usual em sistemas de comunicação) para amplitude no eixo y; de modo que os sinais de amplitudes com variação ampla possam ser vistos ao mesmo tempo. Analisadores de espectro são amplamente utilizados em testes de RF para exibir não somente as características de sinais desejados, tais como se um sinal está ocupando a largura de banda designada, mas também para procurar sinais indesejados (p.1).

Diante disso pode-se afirmar que a partir do analisador de espectro é possível detectar/decodificar/mensurar/quantificar os sinais presentes em um intervalo de frequências pré-definido. Também é necessário ressaltar os parâmetros importantes de um Analisador de Espectros:

2.3.1. FAIXA DE FREQUÊNCIA

Bonfim (2003, p.1) apresenta, que a faixa de frequência é aquela faixa que determinará “as frequências mínima e máxima que podem ser analisadas [...] Para uma medida específica, a janela de frequências visualizada na tela do instrumento é denominada “*SPAN*” e deve ser escolhida de modo a permitir uma visualização adequada do sinal analisado”.

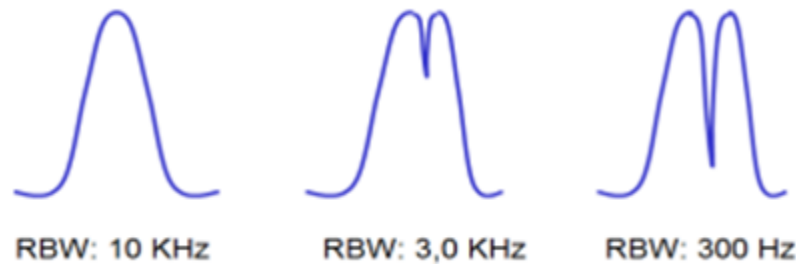
2.3.2. RESOLUTION BANDWIDTH (RBW)

A RBW segundo Senna Filho (2011, p. 29):

Representa a largura de banda de resolução do filtro. A resolução na qual os componentes individuais podem ser separados é determinada pela largura de banda de resolução. Selecionando um RBW demasiadamente grande, pode tornar impossível distinguir dois sinais que estejam próximos na frequência, sendo visualizado como somente um componente.

A Figura 2.3 “ilustra a influência deste parâmetro, quando é configurado com um valor maior do que deveria ser” (SENNA FILHO, 2011, p.29):

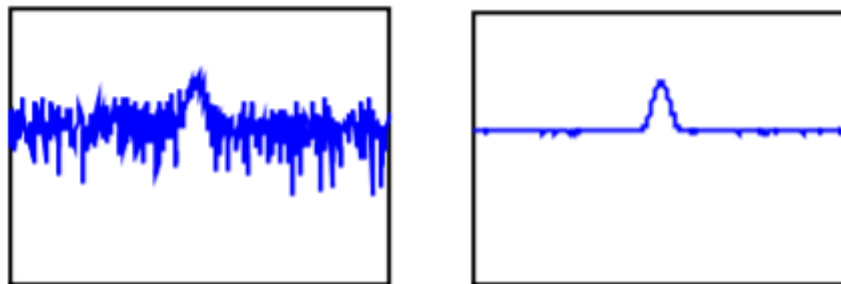
Figura 2.3 - Influência do parâmetro RBW na medição (SENNA FILHO, 2011).



2.3.3. VIDEO BANDWIDTH (VBW)

O mesmo autor também descreve o parâmetro VBW que consiste em um filtro passa-baixas localizado após o detector e antes do *display*. Este determina o valor médio ou aplica a suavização dos pontos da curva que a tela mostra. O analisador mostra o ruído e o sinal. Quando o sinal está próximo ao ruído será difícil identificá-lo. Quando é alterado o valor de VBW, as variações podem ser reduzidas pico a pico do ruído, facilitando a visualização do sinal, como apresentado na Figura 2.4. Este parâmetro pode melhorar a capacidade de identificação e a repetição das medições em relação ao sinal/ruído, baixas. Uma filtragem de vídeo suficiente pode variar de 1/3 a 1/100 da RBW.

Figura 2.4 - Influência do parâmetro VBW na medição (SENNA FILHO, 2011).

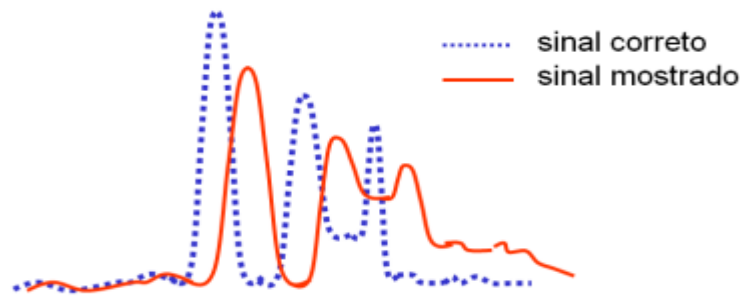


2.3.4. SWEEP TIME (SWT)

Este parâmetro é definido como sendo:

o tempo gasto pelo gerador de varredura para cobrir o *SPAN* selecionado. Este valor interfere diretamente na qualidade da medição realizada. Um SWT muito baixo pode resultar em erros de simultaneidade na visualização de sinais de frequências diferentes, e um SWT muito alto pode resultar em erros nos valores das amplitudes e frequências indicados no *display*, como mostra a figura [...] Geralmente este parâmetro é configurado automaticamente pelo analisador (SENNA FILHO, 2011, p.30).

Figura 2.5 - Influência do SWT na medição (SENNA FILHO, 2011).



2.4. COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA

A CEM (Compatibilidade Eletromagnética) é conceituada por Leão (2008, p.23)

como:

a capacidade de um dispositivo, unidade de equipamento ou sistema, funcionar satisfatoriamente no meio eletromagnético sem introduzir, ele próprio, perturbações eletromagnéticas intoleráveis no ambiente. Uma configuração CEM pode ser assegurada com certa facilidade na instalação de um sistema eletrônico, desde que cada unidade de equipamento utilizado cumpra com as normas da compatibilidade eletromagnética, as quais definem não somente os aspectos de emissão, isto é, os equipamentos atuam como fontes de perturbação eletromagnéticas, como também de imunidade, isto é, os equipamentos não são afetados por perturbações eletromagnéticas no ambiente.

Segundo Leão (2008) existem muitos organismos de normalização, nacionais e internacionais que elaboram especificações técnicas, entre eles: CISPR (*Comitê International Special des Perturbations Radioeetriques* - Comitê Internacional Especial de Perturbações Radioelétricas) e o IEC (*International Eletrotechnical Commission* - Comissão Eletrotécnica Internacional). No entanto, todos respeitam a ISO (*International Organization for Standardization* - Organização Internacional de Normalização). A CENELEC (*Comité Européen de Normalisation* - Comitê Europeu de Normalização) constitui a referência mundial em vigor, em se tratando de compatibilidade eletromagnética. A COPANT (*Pan American Standart Commission* - Comissão Padronizada Pan-Americana) atua nas Américas e normaliza a comercialização de equipamentos eletroeletrônicos nessas regiões. Nesse contexto, cabe explicitar que a Diretiva CEM exige um nível de proteção adequada para fenômenos específicos, que foram identificados pelo IEC (*International Eletrotechnical Commission* - Comissão Eletrotécnica Internacional), passando a ser adotado pelo CENELEC. Tais fenômenos são (LEÃO, 2008, p.22):

- Fenômenos conduzidos de baixa frequência.
- Fenômenos de campos radiados de baixa frequência.
- Fenômenos conduzidos de alta frequência.
- Fenômenos de campos radiados de alta frequência.
- Fenômenos de descargas eletrostáticas.

Leão (2008) explicita que os domínios do CEM englobam todos os fenômenos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos, na faixa de frequência de zero Hz até 400 GHz, o que possibilita a avaliação dos comportamentos de equipamentos eletroeletrônicos em seus aspectos de emissão e imunidades radiada e conduzida. E conclui que os equipamentos eletrônicos que respeitam as normas comerciais CEM estão resguardados naturalmente das perturbações eletromagnéticas.

2.5. AMBIENTE ELETROMAGNÉTICO

Este espaço corresponde ao ambiente em que são identificadas diferentes fontes de perturbações eletromagnéticas que geram interferências eletromagnéticas (EMI), as quais, seus níveis podem ser identificados pelas medições ou previsões (LEÃO, 2008). No que diz respeito a este estudo, o “ruído que é gerado pelo PLC e interfere em outros sistemas é chamado de interferência eletromagnética, que é uma energia irradiada em forma de campo elétrico e magnético e pode interferir diretamente no funcionamento de muitos dispositivos” (SANTOS; TEIXEIRA, 2015, p. 2).

Para melhor compreensão deste estudo, além desses conceitos, é necessário conhecer a respeito de antenas e propagação. Que serão explicitados a seguir.

2.6. ANTENAS E PROPAGAÇÃO

Para Martins (2016, p.3), de acordo com o IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers* - Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos), “uma antena é um elemento passivo de um circuito de transmissão ou de recepção de sinais (não amplifica o sinal), um meio para irradiar ou receber ondas de rádio (IEEE) [...] As antenas produzem dois conjuntos de campos”:

Campo Próximo (Zona de *Fresnel*): Região diretamente em torno da antena, onde os campos magnéticos e elétrico são distintos. Esses campos são ondas de rádio, mas contém as informações transmitidas. Distância: até 10 comprimentos de onda. Aplicação: RFID.

Região de campo próximo reativo: Nesta região os campos elétrico e magnético da onda irradiada não são ortogonais e por isso não é possível verificar as propriedades de radiação da antena.

Região de campo próximo radiante (região de *Fresnel*): Os campos magnético e elétrico da onda transmitida não são ortogonais, impossibilitando a verificação das propriedades de radiação da antena.

Campo Distante (Zona de *Fraunhofer*): A região de campo distante é onde se determina as propriedades de radiação da antena. Nesta região, campo elétrico e magnético são ortogonais. Aproximadamente 10 comprimentos de onda de antena. É a onda de rádio com os campos elétricos e magnéticos compostos. [...] A maioria de aplicações *wireless* (MARTINS, 2016, pp. 11-12).

2.7. RADIOINTERFERÊNCIA NÃO INTENCIONAL

Por conceito se tem:

A rádio interferência (RI) é a degradação da recepção de um sinal desejado causada por perturbações de radiofrequência. A interferência nas frequências de rádio, RFI (*Radio Frequency Interference*), é caracterizada por radiações eletromagnéticas emitidas por circuitos elétricos que geram sinais indesejados. A interrupção, obstrução ou degradação do sinal limita o efetivo desempenho dos equipamentos eletroeletrônicos e de comunicação. A RFI pode ser induzida intencionalmente, como em algumas formas de conflitos eletrônicos, ou não propositalmente, como um resultado de emissões espúrias e produtos de intermodulação. A RFI também é conhecida como interferência eletromagnética (LEÃO, 2008, p.26).

2.8. SNR (*SIGNAL NOISE RATE*)

Segundo Oliveira (2008), perturbações de várias naturezas podem interferir nos sinais transmitidos por sistemas de telecomunicação. Essas são classificadas de acordo com os tipos de ruídos: ruído de equipamento, ruído de interferência e ruído de eco.

Ao recorrer aos estudos de Silva (2004) e Medeiros (2004), a autora conceituou os ruídos, como sendo sinais espúrios (não genuínos) que surgem no sinal desejado, independentemente da natureza de tal.

Também verificou que a relação sinal/ruído é expressa em dB. E que, quando o ruído, assim como o sinal for elevado a informação pode ser ininteligível, fazendo com que as comunicações sejam inviabilizadas (OLIVEIRA, 2008).

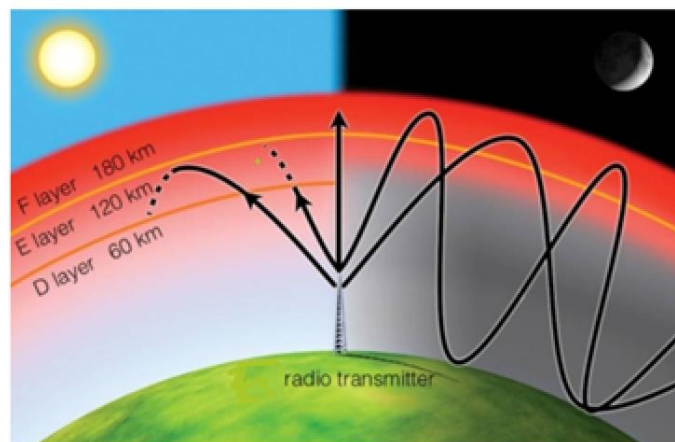
2.9. BER (*BIT ERROR RATE* - TAXA DE BITS ERRADOS)

Para Oliveira (2008), a taxa de erro por bit consiste na verificação da quantidade de bits com erro dentro de um lote. Suas especificações são apresentadas em todos os padrões de para garantir a recepção de sinais com o mínimo de distorções. O BER está intimamente relacionado ao SNR (*Signal Noise Rate* - Relação Sinal-Ruído), uma vez que, quanto menor o nível de ruído, menos distorções haverá, minimizando também as proporções de bits com erro.

2.10. CAMADA IONOSFERA E SINAL DE RÁDIO

A Ionosfera é constituída de camadas, são elas: D, E, F (PEREIRA FILHO, 2015), como mostrado na Figura 2.6.

Figura 2.6 - Ionosfera e suas camadas e a interação com as ondas de rádio emitidas por um transmissor (PEREIRA FILHO, 2015).



A variação durante um dia, ou seja, as mudanças de hora a hora nas várias camadas da atmosfera, são causadas pela rotação da Terra ao redor do próprio eixo. Esta rotação não é somente responsável pelas variações na quantidade de luz solar alcançado a Terra, resultando em dia ou noite, mas também pela correspondente variação na intensidade da radiação ultravioleta que alcança a ionosfera em qualquer ponto. Durante as horas diurnas, quando a radiação ultravioleta alcança a atmosfera superior terrestre, a ionosfera pode tornar-se altamente ionizada com a separação em camadas; durante as horas de escuridão muito pouca radiação alcança a atmosfera superior no lado terrestre distante do Sol, logo a ionosfera perde densidade eletrônica e forma-se uma relativamente fraca e única camada (PEREIRA FILHO, 2015, p.8).

Segundo Pereira Filho (2015) o rádio de ondas curtas apresenta desafios aos comunicadores, espectadores e ouvintes são as variações nas condições de propagação. A

camada D é um grande atenuador e absorve os sinais de HF (*High Frequency* - Alta Frequência). Assim nessa camada, quanto maior a frequência, menor a absorção de sinal. Após o pôr-do-sol a camada D é recombinada com outras camadas. Assim é possível ouvir a noite, transmissões em HF, já que alcança distâncias maiores.

2.11. RECOMENDAÇÃO K60

Colvero, Carneiro e Cunhas (2008) abordam que a Recomendação K60 da ITU (*International Telecommunication Union* - União Internacional de Telecomunicação) de 2003, confere credibilidade na medição de sistemas como o PLC. Esta estabelece os níveis máximos de emissão irradiada permitidos pelo sistema de comunicação irradiante (rede de energia elétrica). Tal recomendação apresenta para os níveis de energia irradiada a faixa de frequência entre 1 MHz e 30 MHz mostradas na Tabela 2.1, utilizando “dB μ V/m”, que segundo esses autores ao recorrerem à estudos da ANATEL (2007) e de Assis, et al. (2007) são utilizados como unidade de referência para cálculos que se dão a partir da componente de intensidade de campo elétrico, o equivalente para uma condição de onda plana.

Tabela 2.1. Limite de emissões radiadas (Colvero, Carneiro e Cunhas, 2008).

K-60 ITU-T Recommendation (2003)	
Faixa de Frequência (MHz)	1 - 30
Limite de Intensidade de Campo - Pick (dB μ V/m)	$52 - 8,8 * \log (f \text{ [MHz]})$
Limite de Intensidade de Campo - Quase-Pick (dB μ V/m)	$40 - 8,8 * \log (f \text{ [MHz]})$
Distância de Medição (m)	3
Banda Passante de Medição (kHz)	9

2.12. REDE PEER TO PEER

Como já apresentado neste referencial teórico, O PLC possui a funcionalidade de transportar dados através da rede elétrica. A maneira como ocorre esse transporte pode variar para atender ao objetivo em questão. No presente estudo o transporte desses dados foi feito através da configuração de uma rede P2P.

Através dessa tecnologia qualquer dispositivo pode acessar diretamente os recursos de outro, sem nenhum controle centralizado. A inexistência de um servidor central significa que é possível cooperar para a formação de uma rede P2P sem qualquer investimento adicional em hardware de alto desempenho para coordená-la. Outra vantagem é a possibilidade de agregar e utilizar a capacidade de processamento e armazenamento que fica subutilizada em máquinas ociosas (ROCHA, et. al. 2004, p.2).

3. METODOLOGIA

Inicialmente foi realizada uma revisão bibliográfica tomando como base, artigos científicos e obras literárias de autores estudiosos desta temática, para embasar e fundamentar a presente pesquisa.

A abordagem escolhida foi a quantitativa, que segundo Thomas (2007, p.298) “os métodos da pesquisa quantitativa quase sempre envolvem medidas precisas, rígido controle das variáveis (com frequência em ambiente laboratorial) e análise estatística”, portanto, elementos concretos.

Posteriormente realizou-se uma pesquisa de campo, conceituada, segundo Marconi e Lakatos (2002, p.83), por ser:

aquela utilizada com o objetivo de conseguir informações e/ou conhecimentos acerca de um problema para o qual se procura uma resposta, ou de uma hipótese que se queira comprovar, ou, ainda, descobrir novos fenômenos ou as relações entre eles. Consiste na observação de fatos e fenômenos tal como ocorrem espontaneamente, na coleta de dados a eles referentes e no registro de variáveis que se presume relevantes, para analisá-los. A com um estudo de caso a fim de se verificar os objetivos propostos.

A execução dos ocorreu no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG) – *Campus Goiânia*, onde buscou-se conhecer os efeitos do PLC no DRM, através do instrumento Analisador de Espectro *Rohde & Schwarz FSH HANDHELD SPECTRUM ANALYZER*.

Tendo em vista que estudos de Teixeira et al. (2007; 2015; 2016) comprovaram radiointerferências prejudiciais do PLC em rádios analógicos, o objetivo foi o de verificar se tal interferência também ocorreria no sistema DRM. Esta análise ocorreu por meio do Analisador de Espectro.

Foi considerada a hipótese de que ao se conectar o PLC no mesmo ambiente de operação do DRM, sua presença pode ou não impactar no funcionamento do sistema DRM.

Diante disso, a pesquisa de campo se caracterizou por ser do tipo experimental, uma vez que consiste na investigação empírica onde o principal objetivo é testar hipóteses relacionadas a causa-efeito. Nestes estudos são utilizados projetos experimentais que selecionam amostras com técnicas probabilísticas e de manipulação de variáveis independentes, que possibilitam o controle de fatores pertinentes a investigação. Com a rigorosidade das técnicas de amostragem é possível generalizar as descobertas adquiridas através da experiência, deste modo, as variáveis pertinentes podem ser descritas e especificadas quantitativamente. Tais estudos podem ser

desenvolvidos em campo e em laboratório, para controle rigoroso do ambiente. Este tipo de pesquisa é vantajoso, no sentido de possibilitar o acúmulo de informações a respeito de um determinado fenômeno, bem como, de poder ser analisada por pesquisadores diferentes com objetivos diversos (MARCONI; LAKATOS, 2002).

Deste modo, o desenvolvimento da pesquisa permeou desde a montagem do ambiente de teste, até a descrição, análise e tratamento dos dados obtidos.

3.1. MATERIAIS UTILIZADOS

Para melhor compreensão de como se deram os testes deste estudo serão apresentados os materiais utilizados nos testes e suas especificações.

3.1.1. PLC

Figura 3.1 - Power Line Communication (Oficina dos Bits, 2022).



Especificações técnicas:

Marca: TP-Link

Modelo: TL-WPA4220KIT

Versão: 1.4

Características:

Padrões e Protocolos IEEE802.3, IEEE802.3u, IEEE802.11b/g/n

Alcance: Alcance 300 metros através da rede elétrica

Faixa de Frequência: 2 - 28 MHz

Frequência *Wireless*: 2.4 - 2.4835 GHz

Tecnologia de Modulação: OFDM (PLC)

Dimensões: 94×54×40mm

Peso com embalagem: 350 gramas

3.1.2. DRM

Figura 3.2 - Digital Radio Mondiale (Made in China, 2022).



Modelo: GR-226BP

Instalação do gravador: Gravador portátil

Alcance de frequência: AM / FM / DRM / MW (*Medium Wave* - Onda Média) / SW (*Short Wave* - Onda Curta)

Predefinições da estação: 60

Alto falante: 52mm Magnético Externo

Plug do fone de ouvido: 3,5 mm

Sistema de Sintonia: *Scan* / Manual / Ajuste de Predefinições

Pacote de Transporte: Embalagem Padrão Regular

Especificação: 87 mm x 87 mm x 135 mm (Largura / Diâmetro / Altura)

Marca comercial: GOSPELL

Origem: China

Capacidade de produção: 500000 Peças/ano

3.1.3. ANALISADOR DE ESPECTROS

Figura 3.3 - Analisador de Espectros (Rohde & Schwarz, 2021).



Modelo: *Rohde & Schwarz FSH8 HANDHELD SPECTRUM ANALYZER*

Faixa de frequências 9 kHz - 8 GHz

Fácil operação, baixo peso e design robusto para uso em campo

Quatro horas de operação com bateria

Armazenamento de até 256 traços e configurações

Fácil transferência de dados para o computador

Alta precisão de medição

3.1.4. OUTROS MATERIAIS

Os materiais anteriormente apresentados foram imprescindíveis para a realização dos testes deste estudo de caso, uma vez que foram específicos para trilhar o caminho em direção a concretização dos objetivos do presente estudo.

No mais, foram utilizados também os seguintes recursos materiais:

- 2 *Notebooks* (que integraram a rede ponto a ponto);
- 2 Cabos *Ethernet*;
- 2 Antenas (uma *Longware* para o rádio e uma dipolo para o analisador de espectros).

3.2. MONTAGEM DO AMBIENTE DE TESTES

A execução dos testes deste estudo de caso foi realizada no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG) - *Campus Goiânia*.

A princípio foi verificado em qual local do *Campus* seria possível realizar os testes, isso, devido à necessidade de encontrar um local em que a antena captasse o sinal das rádios a serem testadas no estudo.

O ambiente de testes é apresentado na Figura 3.4.

Figura 3.4 - Ambiente de Testes (Próprio Autor, 2022).



3.3. RESULTADOS

Primeiramente, verificou-se na casa da discente, a viabilidade de testar as estações de rádio que seriam captadas no Brasil, informadas por Braccini (integrante do DRM Brasil), em reunião realizada no IFG, entre ele e os autores da pesquisa.

A rádio Romênia, 9490 kHz teve clara recepção. Entretanto, a Rádio Nacional da China, 9655 kHz, que tem sua transmissão pela manhã, não funcionou. O fator que pode ter contribuído para essa ocorrência é a questão da camada da ionosfera. Como citado anteriormente, a camada D da ionosfera é uma potencial atenuadora, que absorve os sinais de HF que passam através dela, mas que à noite há a recombinação dessa camada e as baixas frequências passam a ser

refletidas pelas camadas superiores, alcançando distâncias maiores, sendo possível, assim, ouvir as transmissões em HF.

Analisando-se a disponibilidade dos participantes da pesquisa (orientador e orientanda), de estarem no IFG no horário em que seria possível realizar os testes, constatou-se que o ideal seria realizá-los no horário de transmissão da Rádio Romênia.

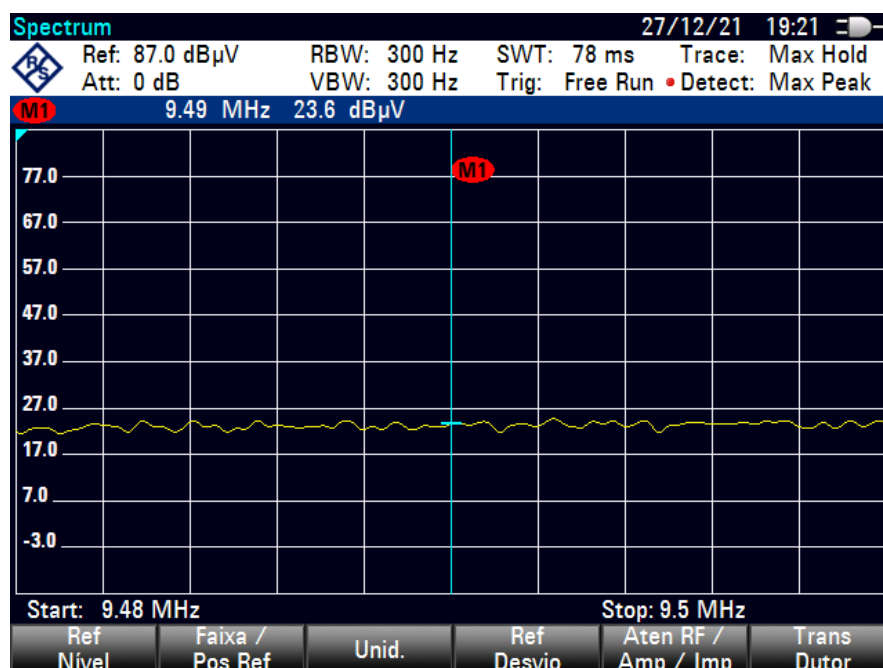
Após alguns dias de testes, em diferentes locais do Campus, definiu-se o local em que o ambiente das medições seria executado, local esse, em que o sinal da rádio se manteve estável durante sua uma hora de programação. O ambiente de testes seguiu o modelo apresentado na Figura 8, respeitando-se a recomendação K-60.

Configurou-se previamente a Rede P2P utilizando o PLC nos dois notebooks e colocou-se em funcionamento alternadamente, para verificar qual o comportamento do sinal de rádio, com e sem a presença do PLC.

No Analisador de Espectros, para todas as medições, a amplitude de referência (valor máximo mostrado no visor do analisador) foi configurada em 87 dB μ V, os valores de RBW e VBW foram configurados em 300 Hz e o valor de SWT foi configurado automaticamente pelo analisador.

Na Figura 3.5, Figura 3.6, Figura 3.7 e Figura 3.8 são mostradas as capturas de tela correspondentes aos resultados dos valores dos campos elétricos, obtidos através do analisador de espectros no momento em que os testes foram realizados.

Figura 3.5 - Teste 1 - Espectro do sinal do DRM, na faixa de frequência 9,48-9,5 MHz, frequência de centro 9,49 MHz, sem a presença do PLC (Próprio Autor, 2021).



A Figura 3.5 mostra o espectro do sinal do DRM, na faixa de frequência de 9,48 a 9,5 MHz, sem a presença do PLC, às 19:21 horas. O nível de sinal medido foi de 23,6 dB μ V.

Figura 3.6 - Teste 2 – Espectro do sinal do DRM, na faixa de frequência 0-30 MHz, frequência de centro 9,49 MHz, com a presença do PLC (Próprio Autor, 2021).



A Figura 3.6 mostra o espectro do sinal do DRM, na faixa de frequência de 0 a 30 MHz, com a presença do PLC, às 19:32 horas. O nível de sinal medido foi de 64,5 dB μ V, podendo-se notar que houve alteração nesse nível.

Figura 3.7 - Teste 3 - Espectro do sinal do DRM, na faixa de frequência 0-30 MHz, frequência de centro 15 MHz, com a presença do PLC (Próprio Autor, 2021).



A Figura 3.7 mostra o espectro do sinal do DRM, na faixa de frequência de 0 a 30 MHz, com a presença do PLC, às 19:40 horas. O nível de sinal medido foi de 64,7 dB μ V, valor próximo ao registrado na Figura 3.6, reafirmando que houve alteração no nível de sinal.

Figura 3.8 - Teste 4 - Espectro do sinal do DRM, na faixa de frequência 9,48-9,5 MHz, frequência de centro 9,49 MHz, sem a presença do PLC (Próprio Autor, 2021).



A Figura 3.8 mostra o espectro do sinal do DRM, na faixa de frequência de 9,48 a 9,5 MHz, sem a presença do PLC, às 19:53 horas. O nível de sinal medido foi de 12,4 dB μ V. Para uma melhor compreensão, a Tabela 3.1 apresenta os resultados das imagens registradas pelo Analisador de Espectros.

Tabela 3.1. Sinais do DRM através do Analisador de Espectros - Com e Sem PLC (Próprio Autor, 2022).

Nível do Sinal do DRM - Rádio Romênia (9,49 MHz) - Com e Sem PLC - Analisador de Espectros		
	Primeira Medição	Segunda Medição
Sem PLC (dB μ V/m)	23,6	12,4
Com PLC (dB μ V/m)	64,5	64,7

Colocando-se os valores lado-a-lado, como mostra a Tabela 3.1, evidencia-se a interferência: sem a presença do PLC, os níveis de sinal atingiram, no máximo, 23,6 dB μ V, e

com a presença do PLC atingiram até 64,7 dB μ V.

Na Figura 3.9, Figura 3.10, Figura 3.11 e Figura 3.12 é mostrado o próprio DRM em funcionamento, sintonizado na frequência de 9,49 MHz (Rádio Romênia) no momento da realização dos testes. Nelas é possível verificar os valores referentes aos níveis de sinal, SNR e BER registrados no momento da captura das imagens.

Figura 3.9 - Teste 5 - DRM sintonizado na faixa de frequência 9,49 MHz, sem a presença do PLC (Próprio Autor, 2021).



Figura 3.10 - Teste 6 - DRM sintonizado na faixa de frequência 9,49 MHz, com a presença do PLC (Próprio Autor, 2021).



Na Figura 3.9, o registro ocorreu em um momento sem a presença do PLC em funcionamento. Já na Figura 3.10, o PLC estava presente. Houve alterações nos valores apresentados: com a presença do PLC, o valor referente ao nível de sinal foi de 7dB μ V e o valor referente à SNR foi de 5 dB, mostrados na Figura 3.10, valores menores que os apresentados na ausência do PLC, que foram 18 dB μ V para o nível de sinal e 13 dB para a SNR, mostrados na Figura 3.9.

A respeito da BER houve um aumento quando o PLC estava presente, comprovando também que está diretamente relacionado com a SNR: quando o valor da SNR diminui, o valor da BER aumenta.

Figura 3.11 - Teste 7 - DRM sintonizado na faixa de frequência 9,49 MHz, sem a presença do PLC (Próprio Autor, 2021).



Figura 3.12 - Teste 8 - DRM sintonizado na faixa de frequência 9,49 MHz, com a presença do PLC (Próprio Autor, 2021).



Houve alterações também em relação a Figura 3.11 e Figura 3.12: com a presença do PLC, o valor referente ao nível de sinal foi de 6 dB μ V e o valor referente à SNR foi de 8 dB, mostrados na Figura 3.12, valores menores que os apresentados na ausência do PLC, que foram 20 dB μ V para o nível de sinal e 14 dB para a SNR, mostrados na Figura 3.11. A respeito da BER, também houve um aumento quando o PLC estava presente, comprovando mais uma vez a interferência. Para uma melhor compreensão, a Tabela 3.2 apresenta os resultados das imagens do DRM. Observando-se os valores, a interferência é evidenciada.

Tabela 3.2. Sinais do DRM - Rádio Romênia (9,49 MHz) - Com e Sem PLC (Próprio Autor, 2022).

Sinais do DRM - Rádio Romênia (9,49 MHz) - Com e Sem PLC			
		Primeira Medição	Segunda Medição
Nível do Sinal	Sem PLC (dB μ V/m)	18	20
	Com PLC (dB μ V/m)	7	6
SNR	Sem PLC (dB)	13	14
	Com PLC (dB)	5	8
BER	Sem PLC	39e ⁻³	36e ⁻³
	Com PLC	95e ⁻³	86e ⁻³

Através das tabelas, evidencia-se a interferência do PLC no DRM. Os valores obtidos através do Analisador de Espectros, Tabela 3.1, mostram as alterações nos níveis de sinal, e os valores mostrados no próprio DRM, Tabela 3.2, reafirmam essas alterações. Houve um decréscimo nos níveis de sinal e valores de SNR, devido a essa perturbação causada pelo PLC, através do ruído de interferência. Os valores de BER, diretamente relacionados a SNR, confirmam que, nos registros em que o DRM apresentava uma melhor SNR, menores eram os valores de BER. Com a presença do PLC, aumentou-se os valores de BER e diminuíram-se os valores da SNR.

4. CONCLUSÃO

Os testes de campo realizados mostraram que as emissões do sistema PLC são uma potencial fonte de interferência para o DRM, algo que não deveria acontecer de acordo com a Resolução 527/2009 da Anatel e devido à proposta de que o DRM possui uma qualidade melhor em relação ao conteúdo de áudio, tornando-o mais claro e amplo, em comparação ao rádio analógico.

O sistema PLC funciona como uma antena produtora de radiação eletromagnética no ambiente em que ela está, podendo ser uma fonte potencial de interferências e perturbando os demais sistemas de radiocomunicações e serviços operados na mesma faixa de frequência. Entretanto, esperava-se que a tecnologia DRM fosse capaz de filtrar as interferências, o que não ocorreu. A partir do momento em que o PLC era conectado na tomada, a transmissão era completamente interrompida.

A análise das interferências eletromagnéticas geradas de forma não intencional pelo sistema PLC através do Analisador de Espectros verificaram que esse sistema não apresenta a compatibilidade eletromagnética, pois funcionou em seu ambiente eletromagnético, introduzindo perturbações eletromagnéticas consideradas intoleráveis ao DRM naquele ambiente.

Em 2015 iniciou-se o processo de desligamento do sinal analógico de TV no Brasil devido a implantação do sinal digital. O sinal analógico era operado na faixa de 700 MHz. Após isso, partes desta faixa foram leiloadas pela ANATEL para operadoras de telefonia, a serem utilizadas em serviços de rede móvel. Como sugestão para que sistemas PLC não interfiram em sistemas DRM, a implementação de sistemas PLC que utilizem faixas de frequências disponíveis atualmente é viável.

Diante disso, acredita-se na relevância desta temática para engenheiros, para a sociedade, acadêmicos e outros que possam vir a interessar-se, uma vez que esta, se faz imprescindível e pode gerar outros estudos.

5. REFERÊNCIAS

- ANATEL. **Anatel - Resolução nº 527, de 8 de abril de 2009**. Agência Nacional de Telecomunicações - Anatel. 2009. Disponível em: <<https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2009/101-resolucao-527>> Acesso em: 13/01/2022 às 23:17:32.
- BONFIM, Marlio. **Medidas Elétricas**. UFPR, 2003. Disponível em: <<http://www.eletr.ufpr.br/marlio/medidashf/apostila/apostila2a.pdf>>
- BRACCINI, *Francisco Jose Klauth*. **Reunião com Autores deste Estudo**. IFG, 18 de dezembro de 2021.
- CAMARGO, Alexandre. Avaliação da Tecnologia de Internet Sob Rede elétrica. 2010 Disponível em: <http://www.ppgia.pucpr.br/~jamhour/RSS/TCCRSS08B/Alexandre%20Camargo%20Lu%20-%20Artigo.pdf>. Acesso em: 06/01/2022, às 18:05:32.
- CAMPOS, Nelson Carlos de Sousa et al. **Relatório de estágio supervisionado no Laboratório de Arquiteturas Dedicadas (LAD)**. 2015.
- CARDOSO, Gustavo Melo. **Pesquisa e Análise da Tecnologia Powerline Communications-PLC**. Faculdade Católica do Tocantins, Palmas: 2018. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/plc_-_tcc_gustavo.pdf> Acesso em: 14/01/2022, às 12:25:30.
- DA SILVA, Juliano Sensolo; CAIXETA, Geraldo Peres. **Sistemas de Comunicação via Rede de Energia Elétrica—uma Solução para a Inclusão Digital no Brasil?**. 2006.
- DINIZ, Rafael. O sistema Digital Radio Mondiale no contexto de escolha da norma técnica para o Sistema Brasileiro de Rádio Digital. **Revista de Radiodifusão**, v. 5, n. 5, 2011.
- DRM CONSORTIUM. **The DRM Digital Radio Broadcasting System DRM Handbook – An Introduction and Implementation Guide**. Revision 5, Geneva, 2020.
- DOS SANTOS, Murillo Vieira; TEIXEIRA, Eliézer Alves. **Blindagem contra interferências eletromagnéticas provenientes do sistema de comunicação PLC**. Relatório Final do PIBIC/PIBITI/CNPq/IFG. Jataí, Agosto/2014 -julho/2015.
- HRASNICA, Halid; HAIDINE, Abdelfatteh; LEHNERT, Ralf. **Broadband Powerline Communications: Network Design**. John Wiley & Sons, 2004.
- LEÃO, Ricardo Micheletto. **Rádio interferência proveniente de linhas de alta tensão**. [Recurso eletrônico] – Porto Alegre: EDIPUCRS, 2008, 148 p. Disponível em: <<https://www.yumpu.com/pt/document/read/15841599/radio-interferencia-proveniente-de-linhas-de-alta-tensao-pucrs>> Acesso em: 07/01/2022 às 09:50:35.
- MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Técnicas de pesquisa**. 1990.
- MARTINS, Ramon Mayor. **ANT – Antenas e Propagação**. IFSC: 2016. Disponível em:

<https://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/images/1/1f/5_0IFSC_Engenharia_ANT_2016_1.pdf>
Acesso em: 14/01/2022 às 15:34:17.

MORENO, Bruno Neiva. **Inclusão social e inclusão digital (livro eletrônico)**. Natal: IFRN, 2019. Disponível em:
<https://memoria.ifrn.edu.br/bitstream/handle/1044/1989/ISID_un1.pdf?sequence=2&isAllowed=y> Acesso em: 24/04/2021 às 15:03:36.

MOTTA, Rafael da Silva, MATA, Plínio Júnior Gonçalves da, ALMEIDA, Rafael da Silva, ARAÚJO, Roger Fabrício Souza. Desenvolvimento de uma plataforma para estudos da inclusão social em áreas remotas por meio da radiodifusão digital na faixa de ondas curtas. **Anais do Conic-Semesp**. Volume 1, 2013 - Faculdade Anhanguera de Campinas - Unidade 3. ISSN 2357-8904. Disponível em: <<http://conic-semesp.org.br/anais/files/2013/trabalho-1000015736.pdf>> Acesso em: 24/04/2021 às 14:07:00.

OLIVEIRA, Kerlla de Souza Luz. **Avaliação da instabilidade da modulação em diferentes ambientes**. 2008. Disponível em: <<http://tede.bibliotecadigital.puc-campinas.edu.br:8080/jspui/bitstream/tede/499/1/KERLLA%20DE%20SOUZA%20LUZ%20OLIVEIRA.pdf>> Acesso em: 23/01/2022 às 20:59:21.

ORG-DRM. **DIGITAL RADIO MONDIALE**. Genebra: 2021. Disponível em:
<<https://www.drm.org/what-is-drm/>> Acesso em: 15/06/2021, às 19:55:18.

PEREIRA FILHO, Renato Dutra. **Entendendo a propagação ionosférica**. 2015. Disponível em:
<https://azoresuperyachtservices.pt/images/Download_pt/COMUNICACOES/Entendendo%20a%20Propagacao%20Ionosferica-Pereira%20Filho.pdf> Acesso em: 10/01/2022 às 14:51:54

RIVEROS, Lilian Jeannette Meyer; SÔNEGO, Adriano; WONZOSKI, Fabiano de Oliveira. ESTUDO SOBRE COMUNICAÇÃO DE DADOS VIA REDE ELÉTRICA-PLC. **Anuário Pesquisa e Extensão Unoesc Videira**, v. 2, p. e15226-e15226, 2017. Disponível em:
<<https://unoesc.emnuvens.com.br/apeuv/article/view/15226>> Acesso em: 29/04/2021 às 02:17:00.

ROCHA, João et al. Peer-to-peer: Computação colaborativa na internet. In: **Minicursos do XXII Simposio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC 2004)**. 2004. Disponível em:
<https://www.cin.ufpe.br/~cak/publications/sbrc2004_minicurso_p2p.pdf> Acesso em: 13:43:32.

ROHDE & SCHWARZ. **O portfólio de analisadores de espectro e sinal da Rohde & Schwarz**. SP: São Paulo, 2022. Disponível em: <https://www.rohde-schwarz.com/br/produtos/teste-e-medicao/analísadores-de-espectro-e-sinal_63665.html>
Acesso em: 10/01/2022 às 11:49:55.

SENNA FILHO, Alisson Ladeira. **Avaliação do ruído de rádio interferência proveniente de linha de transmissão de 500 kV**. 2011. Disponível em:
<<https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-8F7PJ5/1/8m.pdf>> Acesso em: 10/01/2022 às 14:41:19.

SILVA, Aldair; PACHECO, Juliano Anderson. Transmissão de dados através da rede elétrica

Data Communication through the Power Grid System. **Revista E-Tech: Tecnologias para Competitividade Industrial-ISSN-1983-1838**, v. 1, n. 2, p. 35-53, 2008. Disponível em: <<https://etech.sc.senai.br/edicao01/article/view/38>>. Acesso em: 29/04/2021, às 01:26:18.

SILVEIRA, Luã Moloise Fernandes da. **CodePLC: um protocolo de network coding MAC para power line communication**. 2016.

TEIXEIRA, Eliézer Alves, et al. **PLC-to-LAN interference analysis and electromagnetic shielding**. In: 2016 IEEE International Conference on Emerging Technologies and Innovative Business Practices for the Transformation of Societies (EmergiTech). Mauritius, 2016. p.194-198.

TEIXEIRA, Eliézer Alves, et al. *Modeling and performance analysis of PLC channels with external interference in outdoor and indoor environments*. In: 2008 IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications (ISPLC), 2008, Jeju City, 2008. p. 222-227.

TEIXEIRA, Eliézer Alves, et al. **Regulation Issues Relating to Broadband PLC: A Brazilian Experience and Perspective**. In: 2007, Pisa, 2007. p. 523-527.

WARD, Matthew. **DRM Handbook – An Introduction and Implementation Guide**. Genebra: 2020. Disponível em: <<https://www.drm.org/wp-content/uploads/2020/05/DRM-Handbook-Version-5.pdf>> Acesso em: 15/06/2021, às 16:48:02.