

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE MATEMÁTICA
DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICA PURA E APLICADA

Éder Lopes Griebler

MODELAGEM MATEMÁTICA NA ÁREA DE TELECOMUNICAÇÕES

Porto Alegre

2014

Éder Lopes Griebler

MODELAGEM MATEMÁTICA NA ÁREA DE TELECOMUNICAÇÕES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Matemática Pura e Aplicada do Instituto de Matemática da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de Licenciado em Matemática.

Orientadora: Prof^a. Leandra AnversaFioreze

Porto Alegre

2014

Éder Lopes Griebler

MODELAGEM MATEMÁTICA NA ÁREA DE TELECOMUNICAÇÕES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Matemática Pura e Aplicada do Instituto de Matemática da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de Licenciado em Matemática.

Orientadora: Prof^a. Leandra AnversaFioreze

Comissão Examinadora

Prof^a Leandra Anversa Fioreze – Orientadora
Instituto de Matemática – UFRGS

Prof^o Alvino Alves Sant’Ana
Instituto de Matemática – UFRGS

Prof^a. Marilaine de Fraga Sant’Ana
Instituto de Matemática – UFRGS

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse ao longo de minha vida, e não somente nestes anos universitários, mas em todos os momentos.

A esta universidade, seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram a janela que hoje vislumbro um horizonte superior.

Obrigado a minha família, que nos momentos de minha ausência dedicados ao estudo superior, sempre fizeram entender que o futuro é feito a partir da constante dedicação no presente.

Agradeço a minha orientadora Leandra Anversa Fioreze por sua dedicação e ensino em nossas orientações.

A banca examinadora, Marilaine de Fraga Sant'Ana e Alvino Alves Sant'Ana por sua dedicação e por contribuírem para minha formação.

Agradeço a meus pais, pelo incentivo e apoio nos estudos nos Ensinos Fundamental e Médio. Pelo sacrifício que fizeram para me colocar em excelentes escolas e por sua dedicação para me proporcionar as condições necessárias para ter um bom aprendizado.

Agradeço a meu filho Éric por seu companheirismo e amizade. Por cuidar de suas irmãs e minha esposa em muitos momentos de ausência no lar em que estava estudando.

Agradeço a minhas filhas Eduarda, Amanda e Caroline por todo seu amor e carinho. Seus abraços e sorrisos me trouxeram alegria e confiança.

Um agradecimento muito especial a minha esposa Giordana Villant Griebler. Ela foi um fator determinante na conclusão desse curso acadêmico. Com seu espírito guerreiro e determinado me incentivou a ir até o fim.

Aos meus colegas de trabalho que contribuíram na coleta de dados e construção dos modelos matemáticos.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é abordar a modelagem matemática na área de Telecomunicações. Foram investigados por meio de manuais e livros técnicos os conhecimentos necessários a serem utilizados no sistema de transmissão digital de TV a cabo visando a elaboração de modelos. Nesta análise, foi realizada uma síntese da transmissão de sinal de TV desde a emissora até o assinante, sendo abordados os diferentes tipos e meios de transmissão. Observou-se que os conhecimentos matemáticos estão presentes em todo esse sistema e que contribuem na eficiência e qualificação dos técnicos que trabalham nesta área. Identificaram-se vários modelos matemáticos já existentes e baseados neles foram realizadas análises e criaram-se novos modelos, mais especificamente relacionados à conversão de sinais de ótico para coaxial, ajustando o sinal do *Headend* (central de distribuição de sinal) até o *Receiver* (receptor ótico), levando em conta variáveis como distância, valor do transmissor, atenuador e nível de sinal a ser enviado.

Palavras-chave: Modelagem Matemática, Telecomunicações, Sistema Digital, TV a cabo

ABSTRACT

The objective of this paper is to approach mathematical modeling to Telecommunication. The mathematical models used in cable TV digital transmission were studied through manuals and technical books. In this analysis, a summary of the broadcast TV signal from the station to the subscriber addresses the different types and means of transmission approached. We observed that mathematical knowledge is present throughout the system, and that contributes to the efficiency and qualification of the technicians working in this area. Several existent mathematical models were identified, serving as basis for analysis and creation of new templates, more specifically related to the conversion of optical signals for coaxial, adjusting the signal from Headend (signal distribution center) to the receiver (optical receiver), taking into consideration variables such as distance, value of the transmitter, attenuator and signal level being sent.

Keywords: mathematical models, telecommunication, digital system, cable TV digital.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Onda Senoidal	24
Figura 2: Onda Eletromagnético	25
Figura 3: Espectro de frequência via ar	25
Figura 4: Headend	31
Figura 5: Satélite	31
Figura 6: Polarização nos sinais transmitidos por satélite	34
Figura 7: Antena Parabólica	35
Figura 8: Cabo Coaxial	35
Figura 9: Espectro de frequência Cabo	36
Figura 10: Comparativo sinal analógico e digital	37
Figura 11: Diagrama de DCM	43
Figura 12: RFGW.....	47
Figura 13: Modulação 16 QAM	43
Figura 14: Modulação 64 QAM.....	43
Figura 15: Representação da Modulação QAM.....	45
Figura 16: FEC antes e depois.....	47
Figura 17: Distribuição de sinal por cabo coaxial.....	48
Figura 18: Fibra Ótica	48
Figura 19: Rede Híbrida de Fibra e Cabos – HFC.....	50
Figura 20: Diagrama do Headend.....	53
Figura 21: Transmissor Motorola.....	57
Figura 22: Diagrama transmissor Motorola	57
Figura 23: Diagrama rede HFC.....	58

Figura 28: SG 4000 da Motorola	62
Figura 29: Esquema do Modelo Desenvolvido.....	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:Bit Error Rate.....	46
Tabela 2: Especificações técnicas do fabricante MAXNET.....	54
Tabela 3: Valores de níveis de sinal.....	63
Tabela 4: Relação volt com dBmV.....	66
Tabela 5: Variação de volt em cada 2 dBmV.....	67
Tabela 6: Valor convertido para dBmV.....	69
Tabela 7: Valor convertido para dBmV.....	69

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01: TX x Distância.....	60
Gráfico 02: Distância máxima que cada transmissor pode atender.....	61
Gráfico 03: relação Volt com dBmv.....	66
Gráfico 04: Relação Volt x Distância.....	70

SIGLAS

AM – Amplitude Modulation

PM – Phase Modulation

FM – Frequency Modulation

MHz – Megahertz

KHz - Quilohertz

GHz- Gigahertz

VHF - Very High Frequency

UHF - Ultra High Frequency

HF - High Frequency

TV - Televisão

CATV - Community Antenna Television

BPSK- Binary Phase Shift Keying

FEC- Forward Error Correction

bits/s – Bits por segundo

Kbits/s - Quilo bits por segundo

Mbits/s - Megabits por segundo

FSS - Fixed Service Satellites

DBS - Direct Broadcasting Satellite

LNB - Low-noise Converter

NTSC - National Television System Committee

DVD - Digital Versatile Disc ou Disco Digital Versátil

PAL-M - Phase Alternative by Lini

CSO - Composition Second Order)

ATSC - Advanced Television System Comitee(Americano)

DVB –T - Digital Video Broadcasting – Terrestrial(Europeu)

ISDB – T - Integrated System Digital Broadcasting – Terrestrial(Japones)

SBTVD - Sistema Brasileiro de TV Digital

HDMI - High Definition Multimedia Interface

DVB - Digital Video Broadcasting

IRD - Receptor e Decodificador Integrado

DCM - Digital Content Manager

PES - Packetizer Elementar Stream

PSI - Program Specific Information

PAT - Program Association Table

CAT - Condicional Access Table

PMT - Program Map Table

NIT - Network Information Table

SDT - Service Description Table

EIT - Event Information Table

TDT - Time and Date Table

IP - Internet Protocol

QAM - Quadrature Amplitude Modulation

ASK - Modulação em amplitude

FSK - Modulação em frequência

PSK - Modulação em Fase

MER -Modulation Error Ratio ou relação de erro da modulação

SNR - Relação Sinal Ruído

DQI – Digital Quality Index

DOCSIS - Data Over Cable Services Interface Specification

CMTS - Cable Modem Termination System

TDMA - Time Division Multiplexing Acess

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 MODELAGEM MATEMÁTICA	15
2.1 Modelagem como estratégia de ensino e aprendizagem	17
2.2 Modelagem no campo científico de pesquisa	18
2.3 Processos da Modelagem Matemática	19
3 TELECOMUNICAÇÕES	23
3.1 Espectro de Frequência Via Ar	24
3.2 Multiplexagem	26
3.3 Sistema CATV (Community Antenna Television)	29
3.4 Headend	30
3.5 Transmissão por Satélite	31
3.6 Transmissão de sinal no cabo coaxial	35
3.7 Transmissão do sinal no Headend	38
3.8 Modulação Digital	41
3.8.1 Modulação QAM (Quadrature Amplitude Modulation)	42
3.9 Distribuição de sinal no sistema CATV	47
3.10 Medições de níveis de sinal	50
4 ETAPAS DA MODELAGEM E CONSTRUÇÃO DOS MODELOS MATEMÁTICOS NA ÁREA DE TELECOMUNICAÇÕES.....	55
4.1 Transmissor Digital	56
4.2 Receiver SG 4000	61
4.3 Processo de formulação dos modelos.....	63
5 PROPOSTA DE MINICURSO.....	72
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	74
7 REFERÊNCIAS	77

1 INTRODUÇÃO

A matemática está envolvida em diferentes áreas profissionais. O dia a dia dos profissionais em telecomunicações é embasado por conhecimentos técnicos que envolvem vários conceitos matemáticos. Esses conhecimentos são fundamentais para um bom desenvolvimento profissional e para resolução de problemas que ocorrem diariamente no ambiente de telecomunicações.

Um das dificuldades enfrentados nessa área é a demora na resolução de um problema. Como essa área se trata de transmissão de informação, as soluções e configurações precisam ser rápidas e assertivas. Um erro na identificação de um problema ou resolução precipitada pode gerar um desconforto e insatisfação dos usuários desses meios de transmissão.

A telecomunicação é responsável em realizar a transmissão de informação de um ponto a outro. Para que essa informação seja transmitida de forma correta e sem anormalidades faz-se necessário que sigam alguns padrões como qualidade de sinal e ausência de interferências.

Trabalho em uma empresa de telecomunicações responsável em transmitir informações que envolvem televisão, internet e telefone em um sistema HFC (*Hybrid Fiber Coax*). A transmissão pode ser feita através de fibras óticas e cabos coaxiais. O sistema é bem robusto e exige qualidade do material a ser utilizado e valores de sinais obedecendo a um determinado padrão. Para chegarmos a um valor de sinal ideal faz-se necessário a realização de cálculos matemáticos a fim de que o sinal possa ser distribuído a vários assinantes em diferentes regiões com a mesma qualidade de sinal.

O sistema CATV tem seu sinal centralizado em um único local chamado *Headend*. Desse local o sinal é distribuído a todos os bairros de uma cidade e podendo atender até outras cidades. O sinal chega até essas regiões por fibra ótica devido a baixa atenuação a cada quilometro percorrido e também por ser um sistema que permite a transmissão de várias informações.

Tenho observado que os técnicos muitas vezes encontram dificuldades na identificação desses problemas dentro da área de telecomunicações e que grande parte dessas soluções se dá com conhecimentos matemáticos.

Diante destas considerações, neste trabalho objetivo abordar a importância da matemática na área de telecomunicações. Para isso investigamos em livros e manuais técnicos os modelos já aplicados. Nesse processo investigativo encontramos uma oportunidade de desenvolver novos modelos para facilitar o dia a dia dos profissionais da área

A ênfase foi dada na elaboração de um modelo matemático que possa facilitar o ajuste do sinal do *Headend*(central de distribuição de sinal) até o *Receiver*(receptor ótico). Nesse processo trabalhamos essa proposta em um grupo de oito técnicos. Analisaram-se os equipamentos de transmissão e recepção buscando compreender os modelos envolvidos no processo de conversão de sinal de ótico para coaxial. Com base nessa análise construímos novos modelos para facilitar as atividades dos técnicos em telecomunicações.

No capítulo 2 abordamos a importância da Modelagem Matemática no ensino e no campo científico.

No capítulo 3 apresentamos uma síntese do sinal de TV a Cabo desde a geração em uma emissora até o assinante.

No capítulo 4 investigamos modelos matemáticos que envolvem alguns equipamentos de transmissão.

No capítulo 5 apresentamos uma proposta de minicurso a ser aplicado aos técnicos na área de telecomunicações do Headend.

Após, encaminho para minhas considerações finais de como foi a experiência com os técnicos e como os pensamentos de Bassanezi (2002) e Biembengut(2003) contribuíram na construção dos modelos matemáticos aplicados.

2 MODELAGEM MATEMÁTICA

A modelagem matemática pode ser um dos meios de aproximar a matemática à vida do aluno, pois ela “consiste na arte de transformar problemas da realidade em problemas matemáticos e resolvê-los interpretando suas soluções na linguagem do mundo real” (Bassanezi, 2002, p.16).

Hoje em dia percebe-se uma grande apatia por parte dos alunos pelos conteúdos ensinados em matemática. Essa falta de interesse se dá pela dificuldade encontrada na interpretação e aplicação da parte teórica. Aulas tradicionais e pouco criativas têm sido fatores que contribuem para o desinteresse nessa matéria. É preciso pensar em novas práticas de ensino com objetivo de tornar a matemática mais interessante. Bassanezi(2002, p.15) destaca que “esse gosto se desenvolve com mais facilidade quando é movido por interesses e estímulos externos à matemática, vindos do “mundo real””. Ele ressalta que a matemática aplicada é o caminho.

Biembengut define modelagem como:

O processo que envolve a obtenção de um resultado. Este, sob certa ótica, pode ser considerado um processo artístico, visto que, para elaborar um modelo, além do conhecimento de matemática, o modulador precisa ter uma dose significativa de intuição e criatividade para interpretar o contexto, saber discernir que conteúdo matemático melhor se adapta e também ter senso lúdico para jogar com as variáveis envolvidas. (2003, p.12)

No processo de construção de um modelo matemático faz-se necessário que os alunos possam estar envolvidos e interessados no assunto e necessitam estar ou se familiarizar com o tema. Por isso a escolha do assunto deve ser bem ponderada de tal forma que possa ser algo que faça parte do dia a dia do grupo. Com um tema adequado o aluno terá desejo de investigar e buscar novos conhecimentos. A modelagem é o meio de aproximar a matemática à realidade.

Para se modelar é preciso criatividade e conhecimentos sólidos de matemática. Se o conhecimento matemático for muito elementar o modelo ficará limitado a esse conhecimento. A modelagem torna-se uma arte, assim como um escultor ao trabalhar com uma matéria bruta, ao formular e criar questões que estejam de acordo com aplicações e teorias.

Biembengut(2003) destaca que nos cursos regulares onde existe um programa a ser executado dentro de um período, estrutura física e organizacional nos moldes “tradicionais”, o processo de modelagem pode sofrer adaptações. Essas alterações pode se dar devido ao nível de conhecimento dos alunos, tempo disponível, programa a ser cumprido ou ao nível de conhecimento do próprio professor. A modelagem matemática norteia-se por:

Desenvolver o conteúdo programático a partir de um tema ou modelo matemático e orientar o aluno na realização de seu próprio modelo matemático. Pode valer como método de ensino-aprendizagem de Matemática em qualquer nível escolar, das séries iniciais a um curso de pós-graduação. Não há restrição. (BIEMBENGUT, 2003, p.18)

Biembengut(2003) destaca que seus objetivos são:

- Aproximar outras áreas de conhecimento matemático;
- Dar ênfase a importância da Matemática na formação do aluno;
- Despertar o interesse da Matemática Aplicada;
- Melhorar a aprendizagem dos conceitos matemáticos;
- Desenvolver habilidades para resolver problemas;
- Despertar a criatividade.

A modelagem busca criar condições para o aluno aprender a fazer modelos matemáticos, aperfeiçoando seus conhecimentos. A modelagem busca dar ao aluno a liberdade para escolher o assunto e direcionar seu próprio trabalho. Nesse processo o professor deixar de ser o centro da aprendizagem e passa ajudar o aluno a desenvolver os conhecimentos de seu interesse. Com isso o professor promove autonomia ao acompanhar e orientar o aluno. O acompanhamento faz-se

importante, pois na maioria das vezes o aluno não está acostumado com esse método de aprendizagem e pode acabar se desviando dos seus objetivos.

A modelagem matemática tem por objetivo, segundo Biembengut, incentivar a pesquisa, promover habilidades em formular e resolver problemas, lidar com temas de interesse, aplicar o conteúdo matemático e desenvolver a criatividade. Seguindo estas características, a modelagem pode ser vista como método científico de pesquisa e também como estratégia de ensino e aprendizagem.

2.1 Modelagem como estratégia de ensino e aprendizagem

A modelagem matemática vista como estratégia de ensino e aprendizagem tem sido uma forte tendência para alguns professores de ensino. Nesse sentido a Matemática Aplicada vem ganhando destaque nos últimos anos, sendo parte integrante do currículo de cursos de graduação e pós-graduação nas melhores universidades. Essa metodologia de ensino tem crescido a cada dia, porém ainda apresenta resistências de parte de alguns professores.

Esta resistência a essa nova forma de ensinar tem como principais motivos:

- Os programas de ensino precisam ser desenvolvidos completamente. Por ser um processo que envolve tempo e pode ser muitas vezes demorado, os professores não se valem da modelagem matemática para poderem dar conta dos conteúdos letivos.
- O uso da modelagem foge do que o aluno já está acostumado no processo de aprendizagem, onde o professor exerce a função de explicador e se torna o centro do aprendizado. Com isso os alunos podem se perder durante o processo e ficarem desinteressados.
- Muitos professores não se sentem habilitados a desenvolver uma modelagem adequada muitas vezes por falta de conhecimento do

processo de obtenção do modelo ou de lidar com uma área específica do saber.

Por outro lado, têm-se importantes aprendizagens vivenciadas no processo de elaboração de um modelo matemático. Segundo Bassanezi, os argumentos defendidos para a implantação de modelagem no ensino regular são:

- O processo de aplicar conceitos matemáticos ajuda o aluno a “desenvolver capacidades em geral e atitudes dos estudantes, tornando-os explorativos, criativos e habilidosos na resolução de problemas”. (p. 36, 2002)
- Ajuda o estudante a encarar a vida real de uma forma mais crítica.
- “A implicação de modelagem, resolução de problemas e aplicações fornecem ao estudante um rico arsenal para entender e interpretar a própria matemática em todas as suas facetas”. (p.37, 2002)
- Proporciona ao aluno facilidade para compreender melhor os conceitos matemáticos, fixar conceitos e resultados e dar mais valor a matemática.

2.2 Modelagem no campo científico de pesquisa

Dentro do campo científico de pesquisa a modelagem abre espaço para interdisciplinaridade sendo encontrada em várias áreas como física, biologia, química entre outros. Ela vai ao encontro de novas tendências que direcionam para acabar com as fronteiras entre as diferentes áreas de pesquisa.

Segundo Bassanezi, a ciência é uma atividade com objetivo de fazer o ser humano entender a natureza por meio de teorias adequadas. Ela é um “fenômeno cumulativo cultural”. Já a matemática e a lógica são ciências essencialmente formais baseadas em ideais abstratas ou interpretativas. Essas ideias quando trabalhadas acabam em um caminho abstrato afastando-se da realidade e da situação original. A

grande maioria das ciências com exceção das físicas acaba não usando a matemática para expressar suas ideias e assim suas teorias resultavam em falta de clareza tornando-se muito superficiais. Nessas áreas a matemática é empregada apenas para pesquisas estatísticas sendo usada como disfarce pela falta de conceitos matemáticos mais reais.

Nesse ponto a matemática é vista como uma fonte para esclarecer teorias e ideias provocando uma visão crítica e questionadora dos fatos. A matemática visa então simplificar as exposições teóricas:

O objetivo fundamental do “uso” de matemática é de fato extrair a parte essencial da situação-problema e formalizá-la em um contexto abstrato onde o pensamento possa ser absorvido com uma extraordinária economia de linguagem. Desta forma, a matemática pode ser vista como um instrumento intelectual capaz de sintetizar ideias concebidas em situações empíricas que estão quase sempre camufladas num emaranhado de variáveis de menor importância (BASSANEZI, 2002, P. 18).

A modelagem matemática, dentro do campo científico, busca questionar e justificar os ideais teóricos. A matemática tem sido vista como um eficiente instrumento para formular teorias das ciências naturais principalmente no campo da física. A modelagem exige uma postura crítica e argumentativa segmentando grandes problemas em problemas menores.

Os modelos matemáticos tem sua importância por serem precisos e expressar ideias de uma forma clara. Sua importância também se dá no campo computacional proporcionando métodos e soluções numéricas.

2.3 Processos da Modelagem Matemática

A modelagem matemática pode ser vista como um processo cujo objetivo é a obtenção e validação de um modelo matemático. Em um modelo é preciso ter um

equilíbrio entre o conteúdo e a linguagem de tal forma que possibilite uma investigação crítica e que gere algo que possa ser validado, possa gerar modificações até atingir a aceitação desse modelo.

Em um processo de modelagem matemática não existe uma série de etapas a serem obrigatoriamente cumpridos, porém existem alguns processos fundamentais. Bassanezi(2002) destaca algumas dessas etapas:

1. Escolha do Tema: é fundamental a criação de um tema que possa ser abrangente de tal forma que possa ser aplicado o modelo em vários níveis. Outro fator importante é que o assunto deve ser interessante e aplicado ao aluno. O assunto precisa ser algo que o aluno esteja familiarizado no seu dia a dia. É interessante dar ao aluno a opção de escolher o tema assim haverá mais participação e envolvimento da sua parte.
2. Coleta de dados: com o tema definido precisamos então buscar informações relacionadas ao assunto. Esse momento também pode ser chamado experimentação por envolver a coleta de dados que podem ser qualitativos ou numéricos. Existem as mais diferentes formas de se obter esses dados. Eles podem ser obtidos:
 - Através de entrevistas e pesquisas por amostragem. Para esse caso faz-se necessário a elaboração de um questionário e os resultados irão envolver conceitos probabilísticos.
 - Através de pesquisas bibliográficas como livros, catálogos, revistas e artigos científicos.
 - Através de experiências elaboradas pelos próprios alunos.

Os dados coletados devem ser consolidados em tabelas e gráficos de tal forma que possam ser analisadas de maneira mais eficiente.

3. Formulação de modelos: Com base nos dados obtidos podemos obter modelos matemáticos a serem analisados e validados. Podemos destacar dois tipos de formulações matemáticas.

- Formulação estática: Essas formulações envolvem equações e funções com uma ou mais variáveis.
 - Formulação dinâmica: Nesses modelos há pelo menos dois tipos de variáveis (dependentes e independentes). Nesse caso a variável dependente é geralmente o tempo.
4. Resolução: quando um modelo é desenvolvido e forma, por exemplo, uma equação, pode-se resolvê-la e usar métodos computacionais dando uma solução numérica aproximada.
 5. Validação: é o processo onde o modelo é aceito ou não. Neste ponto se compara os valores obtidos com os valores do sistema real. Um bom modelo matemático é aquele em que os valores desse modelo estão de acordo com a realidade.
 6. Modificação: alguns fatores ligados ao problema original podem provocar erros ou rejeição ao modelo criado. Essas previsões equivocadas podem ser fruto de hipótese falsa, dados experimentais ou informações incorretas, existir outras variáveis a serem consideradas ou cometer erros no desenvolvimento matemático. Mesmo obtendo-se um valor aceitável é possível melhorá-lo e torná-lo mais preciso.

É importante destacar que na etapa de modificação é a oportunidade de reformulação de modelos. Bassanezi destaca que:

Nenhum modelo deve ser considerado definitivo, podendo sempre ser melhorado, agora podemos dizer que um bom modelo é aquele que propicia a formulação de novos modelos. A reformulação de modelos é uma das partes fundamentais do processo de modelagem. (2002, p.31)

Como afirma D`Ambrósio(1996), a modelagem é um processo que não tem começo nem fim, é permanente. “Nenhuma teoria é final, assim como nenhuma prática é definitiva, e não há teoria e prática desvinculadas”. (p.61).

A modelagem também pode ser definida em relação a seus propósitos e interesses. Kaiser-Messmer(1991) destaca pelo menos duas visões gerais predominantes nos debates internacionais sobre modelagem: a pragmática e a científica.

A corrente pragmática baseia-se na organização do currículo em torno das aplicações, retirando conteúdos matemáticos que não são aplicáveis. Os conteúdos ensinados na escola precisam ser úteis para sociedade. A resolução de problemas é a ênfase tendo como foco a construção de modelos matemáticos.

Já a corrente científica busca relacionar outras áreas com a própria matemática. Para os cientistas a modelagem matemática é vista para introduzir novos conceitos.

A modelagem matemática torna-se uma solução para práticas escolares tornando os conteúdos mais próximos dos alunos despertando o interesse, criatividade e senso crítico.

Com base nesses conhecimentos, desenvolvi com meus colegas de trabalho questionamentos e investigações de alguns modelos matemáticos já criados e utilizados no sistema de transmissão de sinal do *Headend* até o *Receiver*. Nesse processo foram analisados e questionados esses modelos e com base neles buscou-se desenvolver novos modelos matemáticos. Minha proposta é a elaboração de um modelo matemático que possa facilitar às configurações dos níveis de sinal de transmissão as diversas regiões atendidas pelo *Headend*.

3 TELECOMUNICAÇÕES

Em telecomunicações estuda-se a transmissão dos diversos sinais de um ponto a outro. Esse sistema se apresenta na transmissão de rádio e televisão, na comunicação telefônica a longa distância, na comunicação por satélite, nos sistemas de controle remoto, etc.

Os serviços são propagados de um ponto a outro através de um meio que chamamos de canal. Essa rede de transmissão é composta por sistemas onde são realizadas as interligações entre centrais de comunicação. Os sistemas de transmissão utilizam meios diferentes para o envio dessas informações, esses meios podem ser de dois tipos: meios físicos como cabos coaxiais e fibras óticas; e meios não físicos como o espaço livre. Esse transporte de informações, em telecomunicações, é chamado de comunicação. Para haver esse transporte de informações é necessária a utilização de sinais que são fenômenos físicos com comportamento que se adaptam ao meio de propagação.

Um dos meios de transmissão de informações são as ondas eletromagnéticas usadas para comunicações sem fio. Essas ondas correspondem à energia transportada através do espaço, na velocidade da luz, na forma de campo elétrico e magnético. A quantidade de energia associada à onda eletromagnética depende de suas frequências, as quais são medidas pelo número de oscilações (ciclos) por segundo.

Os sistemas de telecomunicações podem ser divididos em:

- Sistemas analógicos: nesse sistema a forma de sinal é conservada da fonte até o seu destino.
- Sistemas digitais: nesse caso a forma de sinal transmitido é diferente do sinal original. Os sinais são convertidos para um sistema de sinal binário antes de ser transmitido. O sistema binário ou de base dois é um sistema de numeração posicional em que todas as quantidades se representam com base em dois números, ou seja, zero e um.

Independente do meio de propagação os sinais transmitidos tem largura de faixa limitada e pequena, se comparada com a largura de faixa do próprio canal. Com isso faz-se necessário a utilização de algumas técnicas de tal forma que mais serviços possam ser propagados dentro de um mesmo meio.

3.1 Espectro de Frequência Via Ar

O meio via ar permite que frequências sejam transportadas a partir de ondas eletromagnéticas. A frequência é uma grandeza física associada a movimentos de características ondulatórias que indicam o número de oscilações ou ciclos por unidade de tempo. O tempo necessário para executar uma oscilação é o período e a distância percorrida pela onda durante o período é chamado de comprimento de onda. As ondas são matematicamente representadas através de ondas senoidais. O comprimento da onda é representado pela letra grega lâmbda e equivale à distância entre os picos de duas ondas. Já a frequência equivale à quantidade de ondas existentes no intervalo de tempo de um segundo (medida denominada Hertz).

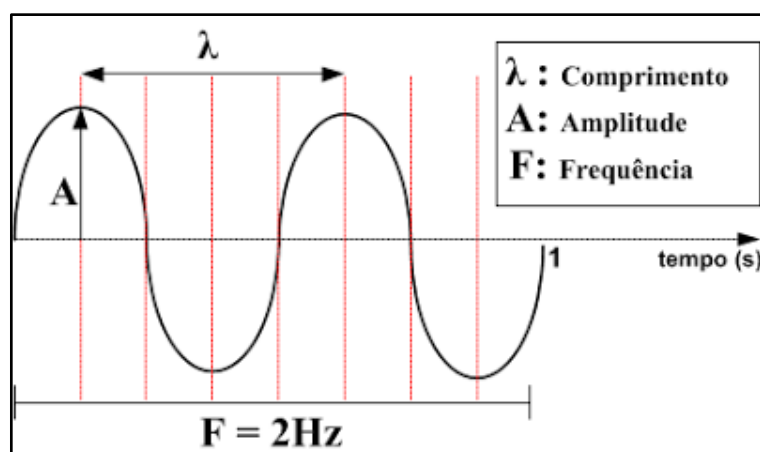


Figura 01 – Onda Senoidal

Fonte: <http://labcisico.blogspot.com.br/2013/03/o-espectro-eletromagnetico-na-natureza.html>

As ondas eletromagnéticas são ondas formadas pela combinação dos campos magnético e elétrico que se propagam no espaço perpendicularmente um em relação ao outro e na direção de propagação da energia.

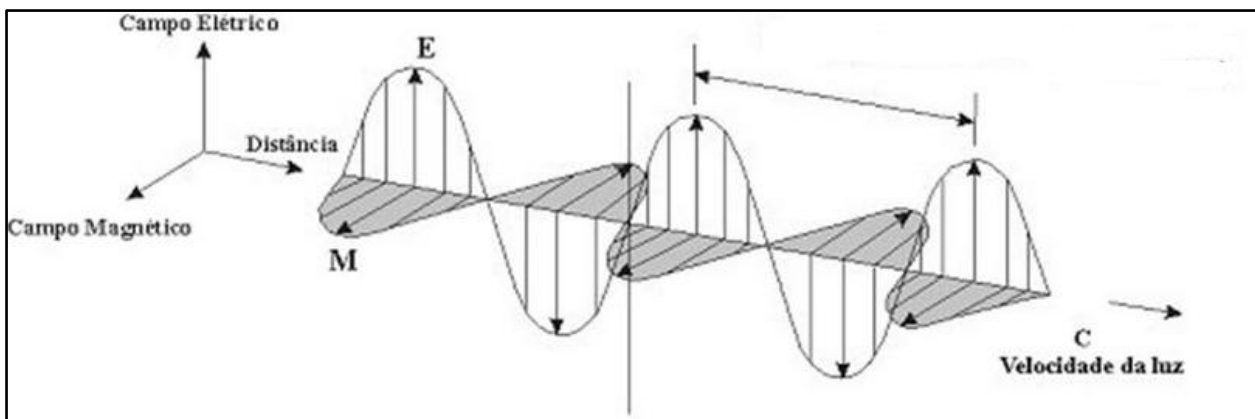


Figura 02 – Onda Eletromagnética

Fonte: <http://einsteinjournal.blogspot.com.br/2011/02/ondas-eletromagneticas-microondas.html>

O espectro de frequências das transmissões via ar é bastante segmentado devido aos serviços e tecnologias terem sido criados em épocas diferentes. Por esse motivo temos canais de TV espalhados em frequências que vão de VHF (*Very High Frequency*) até UHF (*Ultra High Frequency*). As emissoras de TV transmitem suas programações nas faixas conhecidas como VHF e UHF. Cada canal ocupa uma banda, ou seja, uma largura de canal, de seis MHz (mega-hertz). Na figura 3, temos o espectro de frequências para transmissão via ar:



Figura 03 –Espectro de frequência via ar – frequência em MHz

<http://www.youblisher.com/p/299935-Introducao-a-CATV/>

No espectro de frequência, abaixo de 30 MHz existe a faixa de frequência HF(*High Frequency*) usada em comunicação de rádios amadores e sistemas de baixa confiabilidade.

As faixas de VHF ocupam, dentro do espectro, o intervalo de 30 a 300 MHz. Nessas faixas são transmitidos os sistemas de TV de canais abertos, rádios FM e

serviços ponto a ponto usados pela Polícia Militar e Forças Armadas. Já as faixas UHF, de 300 a 3000 MHz, são utilizados por uma diversidade de serviços tais como TV aberta, celular e etc.

Como podemos ver, o espectro de frequências via ar é limitado. Os serviços a serem propagados por esse meio crescem a cada dia a fim atender uma diversidade de serviços e entretenimentos cada vez maior.

Dentro do espectro não podemos transmitir mais de um serviço dentro do mesmo canal, pois causaria interferência entre os serviços. A interferência seria a superposição de duas ou mais ondas dentro do mesmo ponto. Porém, torna-se um desperdício transmitir apenas um sinal por canal, pois esse estaria funcionando muito além da sua capacidade de transmissão de informação.

3.2 Multiplexagem

Para resolver esse problema faz-se necessário utilizar algumas técnicas de multiplexagem. A multiplexagem podem ser por divisão de frequência ou por divisão de tempo, com isso torna-se possível transmitir, simultaneamente, diversos sinais em um mesmo canal. Multiplexar significa otimizar o meio de transmissão para permitir a comunicações simultâneas de várias informações na mesma direção. Os equipamentos que executam essa função são chamados de *multiplex* ou *mux*.

Um multiplexador é um dispositivo que codifica as informações de duas ou mais fontes de dados num único canal. Em processamentos de sinais digitais, o *multiplexer* obtém fluxos de dados distintos e combina-os num único fluxo de dados com uma taxa de transferência mais elevada. Isso permite que múltiplos fluxos de dados sejam transportados de um local para outro através de uma única ligação física, o que reduz custos. A multiplexação não só permite a transmissão simultânea de diversos sinais sem interferência entre eles, mas também torna possível a irradiação eficaz desses sinais.

A multiplexagem por divisão de frequência é baseada no deslocamento dos espectros de frequência dos diferentes sinais para que ocupem diferentes intervalos de frequência, sem que haja superposição dos espectros deslocados. O deslocamento do canal até uma posição específica do espectro de frequências é feita através de um processo de modulação. Esse processo deve ser feito de tal forma que o sinal modulado não interfira em outros canais a serem multiplexados.

Para o caso de vários sinais, o espectro de cada sinal individual é transladado de uma quantidade adequada para evitar superposição entre os espectros dos diferentes sinais. Dessa forma, no receptor final, os diferentes sinais podem ser separados, usando-se filtros apropriados. Entretanto, os espectros individuais assim separados não representam os sinais originais, pois estes foram transladados da sua posição original. Assim para obter o sinal original, cada espectro individual é retranladado de uma quantidade adequada para fazê-lo voltar a sua forma original. Dessa forma podemos transmitir simultaneamente vários sinais em um canal, sempre que eles puderem ser separados no extremo do receptor. Cada sinal pode ser especificado no domínio do tempo ou no domínio da frequência.

No método da translação em frequência, todos os sinais se misturam no domínio do tempo, embora seus espectros estejam tão separados que ocupem faixas de frequências diferentes.

A multiplexagem é baseada no processo de modulação. Modular significa alterar as características de um sinal eletromagnético. As ondas eletromagnéticas são ondas formadas pela combinação dos campos magnético e elétrico que se propagam no espaço perpendicularmente um em relação ao outro e na direção de propagação da energia. As modificações nesses sinais são processos de variação de amplitude, intensidade de frequência, comprimento ou fase da onda de transporte. As modulações são realizadas através de operações básicas de funções matemáticas que representam os sinais elétricos.

As ondas senoidais são utilizadas para transportar a informação em diversos tipos de modulação. A amplitude corresponde ao valor máximo da onda, e o período (T) corresponde a duração de um ciclo completo da onda, sendo que a frequência (f)

da onda senoidal é o inverso do período, ou seja, o número de ciclos por segundo cuja unidade de medida é o Hz(Hertz).

Podemos definir pelo menos dois tipos de modulação:

- Discreta – onde a portadora é em formato de trem de pulsos. A amplitude, largura ou posição de um pulso da portadora varia em função das amostras da informação a ser transmitidas. Nesta técnica uma amostra da forma de onda é tomada a intervalos regulares. Há uma variedade de esquemas de modulação por pulso.
- Contínua – onde a portadora é uma onda senoidal. Nesse caso a amplitude, fase ou frequência varia continuamente em função da informação a ser transmitida. Como exemplos, temos as ondas de AM, FM e PM.

Ao tratarmos de sinais propagados no ar, por exemplo, sua forma de transmissão está baseada em ondas senoidais. Com isso faz-se necessário à compreensão dos conceitos de funções trigonométricas. Como vimos anteriormente essas ondas de propagação precisam ser moduladas, ou seja, alteradas sua condição original. Essas mudanças são necessárias para:

- Facilitar a irradiação;
- Reduzir o ruído e interferências;
- Designar uma frequência para transmissão do sinal;
- Multiplexar, ou seja, poder alocar mais de um canal dentro de uma mesma banda.

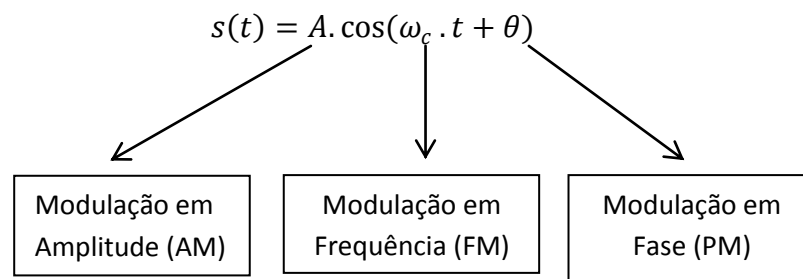
Como estamos tratando de ondas senoidais essas mudanças podem envolver a variação da amplitude, frequência e fase. Em geral podemos definir essa onda como:

$$s(t) = A \cdot \cos(\omega_c \cdot t + \theta)$$

Onde:

- $s(t)$ é o sinal modulado
- A é a amplitude
- ω_c é a velocidade angular que é definida por $\omega_c = 2\pi f$
- t é o tempo
- θ é a fase

Quando temos a variação de qualquer uma dessas variáveis teremos uma forma de modulação diferente:



Embora tenhamos um vasto espectro via ar, ele apresenta algumas desvantagens. Na transmissão via ar existe a obstrução de sinais também chamada de “áreas de sombra”, que normalmente ocorre em regiões muito acidentadas com muitas montanhas ou até prédios. Com isso, alguns pontos, o nível de sinal fica muito baixo ou com bastante ruído. A solução não depende somente em aumentar o nível de potência, pois esse nível é limitado e precisa respeitar algumas normas técnicas.

Para solucionar essa questão garantindo uma boa qualidade de imagem em qualquer lugar é necessário um novo meio onde possa ser propagado o sinal de tal forma que não sofra interferência e ao mesmo tempo chegue a lugares onde o sinal via ar sofreria obstruções.

As técnicas de modulação até agora apresentadas tem como meio de propagação o ar livre, ou seja, as informações transmitidas não requerem um meio físico para sua propagação. Veremos agora um caso específico de propagação por meio de cabos coaxiais. Com isso introduzimos o conceito de TV a cabo.

3.3 Sistema CATV (Community Antenna Television)

O Sistema CATV também chamado de TV a cabo ou TV por assinatura é uma modalidade de serviços onde uma empresa, conhecida como operadora fornece sinais de televisão para usuários. Esses usuários pagam um valor para que possa dispor de canais de várias modalidades com uma boa qualidade de imagem e áudio.

Os canais convencionais, ditos abertos tem como sua fonte de renda a audiência. Quanto maior o público atingido, mais podem cobrar pelas inserções comerciais. Como resultado a programação dos canais se assemelham muito. Os canais apresentam em horários semelhantes jornais, novelas, programas infantis e outros gêneros. A ideia da TV por assinatura é proporcionar o programa que o cliente deseja em qualquer horário. Com o avanço das tecnologias e do setor de comunicação as operadoras de TV a cabo passaram a distribuir outros tipos de serviço como internet, telefone e vídeo sobre demanda (video on Demand).

3.4 Headend

O Headend é o ponto onde são recebidos todos os canais que serão transmitidos pelo sistema CATV. Se formos comparar o sistema CATV a um corpo humano podemos dizer que Headend é o coração ou cérebro desse sistema. Todos os serviços oferecidos passam pelo Headend. Os canais são recebidos de várias formas como via satélite, UHF, VHF, link ótico, etc.

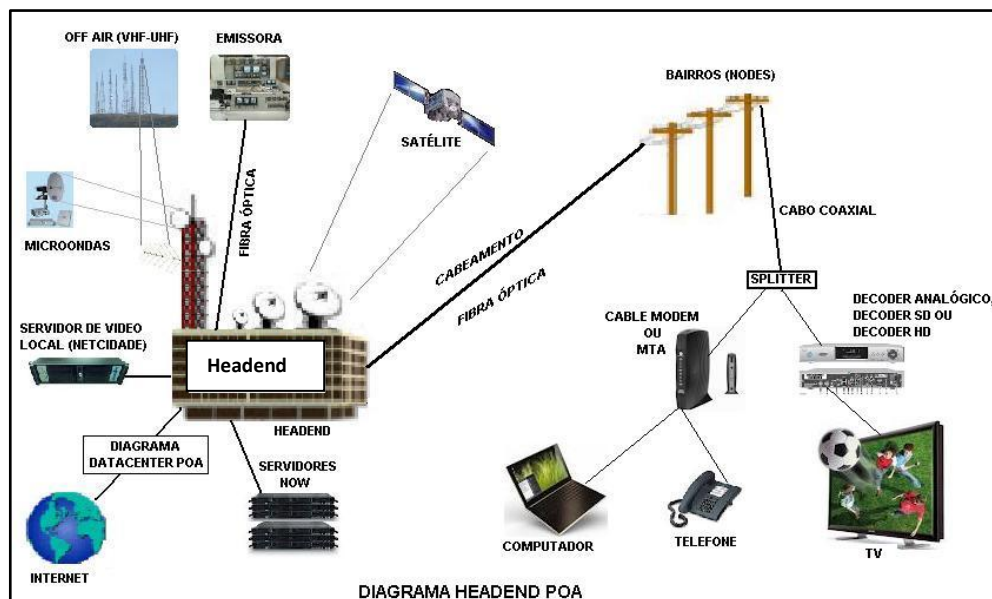


Figura 04 – Headend

Fonte: feito pelo autor

3.5 Transmissão por Satélite

A maioria dos canais no *Headend* são recebidos por satélite. Esses canais se propagam no ar e usam a banda de 3 a 30 GHz. Nessa forma de recepção o canal é gerado pela programadora e enviado a um satélite para ser retransmitido para outras regiões do mundo, figura 5.

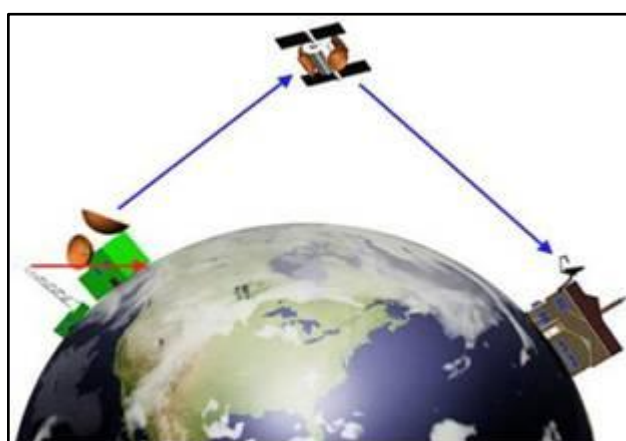


Figura 05 – Satélite

Fonte: http://www.img.lx.it.pt/~mpq/st04/ano2002_03/trabalhos_pesquisa/T_15/tv_satelite/funcionamento_geral.htm.

A transmissão por satélite usa microondas geradas por um satélite em órbita a aproximadamente 35.880 km acima da superfície da terra. Nesta altitude, o satélite permanece sempre posicionado no mesmo ponto em relação à Terra. Tanto a Terra como o satélite se movimentam em alta velocidade e a isso se dá o nome de "órbita geoestacionária". Os transmissores e receptores de microondas são apontados diretamente para o satélite, em linha de transmissão visível.

A principal função de um satélite de comunicações é receber um sinal de rádio oriundo da superfície terrestre, amplificá-lo e retransmití-lo de volta para a Terra. Os equipamentos eletrônicos necessários para alcançar esse objetivo estão agrupados no *transponder*.

O *transponder* é a parte do satélite que combina a função de receber o sinal em uma determinada frequência, realizar a conversão da frequência e transmitir o sinal recebido em uma nova frequência determinada. Uma das principais técnicas utilizadas é a multiplexação que consiste em permitir que vários canais secundários compartilhem, simultaneamente, informações em um único canal. Essa operação é realizada pelos equipamentos multiplex, na transmissão, e demultiplex na recepção. Assim, a ideia fundamental nos sistemas multiplex, é otimizar a utilização dos meios de transmissão, e no caso sistemas de satélite.

Nesse processo existem alguns parâmetros básicos para uma boa qualidade de transmissão. Esses parâmetros são valores fixos que são informados pela programadora.

O FEC (*Forward Error Correction*) é um desses parâmetros. O FEC é uma técnica de correção antecipada de erros. O sinal de satélite modulado contém códigos especiais que o receptor usa para verificar (e corrigir se necessário) se todos os bits de informação transmitidos foram realmente recebidos corretamente. Ou seja, o processo de correção antecipada de erros consiste em símbolos adicionais e redundantes ao conteúdo da mensagem original. O decodificador de FEC do receptor utiliza os símbolos adicionais transmitidos para restaurar a qualidade da mensagem original depois de recebida. Um tipo de codificação de FEC

utilizado em sinais de TV via satélite, chamado de código Viterbi que é expresso através de uma razão, tal como 1/2, 3/4, ou 7/8.

O dígito do numerador indica o número de símbolos originais de entrada no codificador de FEC (na transmissão do up link), enquanto o denominador mostra os números que saem. Assim um FEC de 2/3 significa que para cada par de símbolos quem entram, saem 3. Isto é, o índice de correção é de 50% sendo um bit adicionado a cada par de bits.

Outro parâmetro importante é o *Symbol Rate* que é a taxa de transmissão dos bits (por isto também é chamado de taxa de símbolos), seus valores são dados em bits/s ou Kbits/s ou, no caso de TV, Mbits/s.

O parâmetro de como a onda está sendo polarizada é outro fator importante na recepção de um canal digital. Polarização é uma maneira de se transmitir o sinal via satélite em uma direção específica.

Com a polarização o feixe de sinal se torna muito mais concentrado e isto facilita a recepção do sinal pela sua antena. Existem quatro maneiras diferentes de se polarizar o sinal de TV via satélite, a polarização pode ser:

- Linear Horizontal. (H)
- Linear Vertical. (V)
- Circular Esquerda. (L)
- Circular Direita. (R)

A polarização linear horizontal e vertical e a polarização circular esquerda e direita podem ser aplicadas simultaneamente ou por frequência de canal. Com isso se torna mais eficiente e usa do seu potencial máximo para transmissão dos canais disponíveis.

Diante disto, para evitar que ocorram interferências, cada uma das frequências usadas é ligeiramente alterada, com isto as transmissões horizontais e verticais sobre a mesma frequência não vão interferir uma na outra, pois tem

polarizações diferentes possibilitando assim o dobro de transmissões de canais que deveriam ser transmitidos no mesmo satélite.

É através da polarização de uma mesma frequência, ou de uma frequência quase igual, que o satélite pode transmitir em vertical ou horizontal ou então em esquerda ou direita.

Na figura 6 temos o comportamento de cada tipo de polarização transmitida feita pelo satélite.

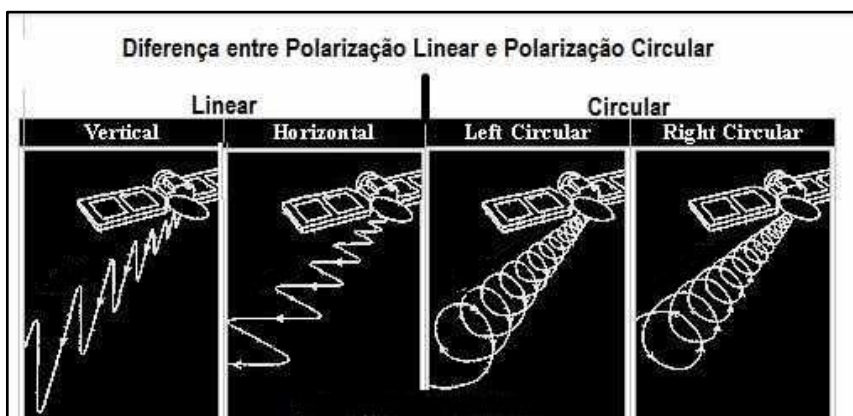


Figura 06 – Polarização nos sinais transmitidos por satélite

Fonte: gps.pesquisa.com

Essa transmissão é recebida em antenas parabólicas, figura 7. A forma geométrica dessas antenas, como o próprio nome já diz, é um parabolóide de revolução, de tal forma que todos os feixes paralelos de radiação eletromagnética se concentrem em um só foco. As parabólicas utilizam de um material refletivo. Ela reflete o sinal vindo do espaço, que vem em todas as direções, para o centro da antena, onde está LNB (*Low-noise Converter*), e assim concentrando este sinal fraco num único ponto, para que se obtenha uma recepção aceitável.

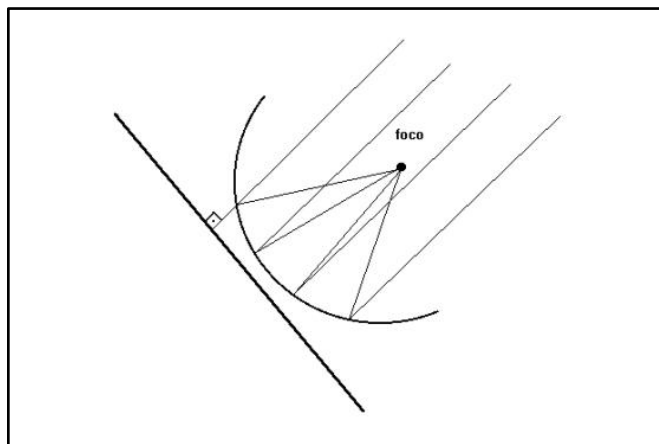


Figura 07 – Antena Parabólica

Fonte: <http://eletrohoo.paros.uni5.net/artigos/conteudo.asp?faq=3&fldAuto=81>

3.6 Transmissão de sinal no cabo coaxial

O meio de transmissão no sistema CATV é a fibra ótica e o cabo coaxial. O cabo coaxial é uma estrutura tubular com um condutor por onde trafega o sinal, conforme figura 8. A separação do condutor externo é feita por um material isolante. O condutor externo, por envolver por completo o condutor interno exerce a função de blindagem impedindo vazamento de sinal ou ingresso de interferência de sinal via ar.

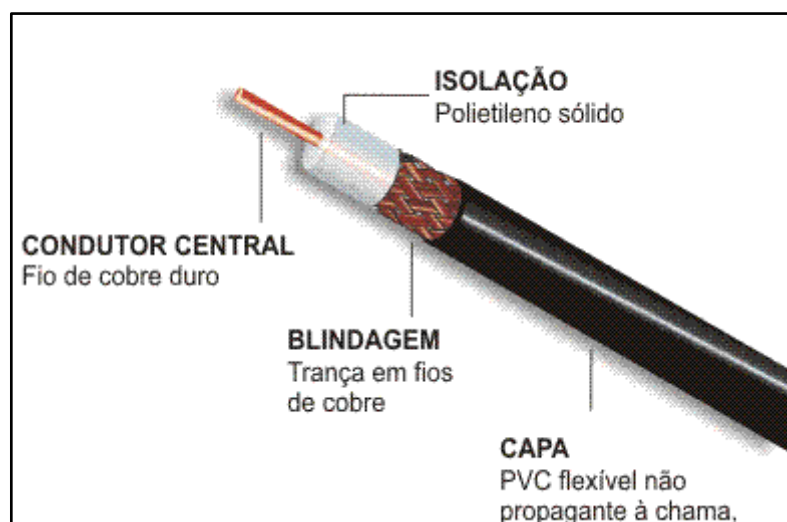


Figura 08 – Cabo Coaxial

Fonte: <http://jccabos.net/produto/CABO-RGC%252d59-PRETO-C%7B47%7DANATEL-95%25-DE-MALHA-COBRE-100-M.html>.

No cabo são usadas as mesmas frequências que as transmitidas em VHF, no entanto, se houver um canal via ar em uma determinada frequência, a mesma deverá ser evitada para que não ocorram problemas de interferência. Já em UHF os canais são deslocados dos canais via ar de 2 MHz para minimizar possíveis interferências.

Na figura 9, temos o espectro de frequência utilizada no sistema CATV.

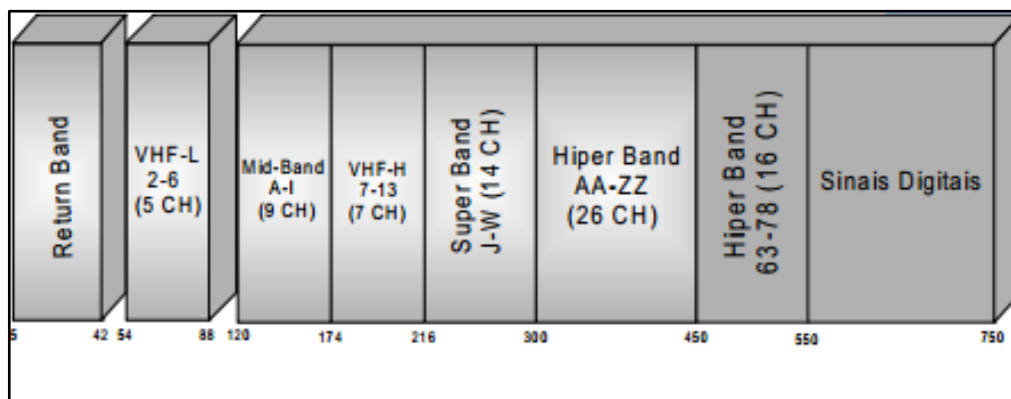


Figura 09 - Espectro de frequência Cabo – Frequência em MHz

Fonte: <http://www.youblisher.com/p/299935-Introducao-a-CATV/>

Para uma boa qualidade de imagem do sinal são necessários alguns padrões de qualidade. Como a rede em que é transmitido esse sinal é um cabo coaxial, se houver alguma anormalidade nas características dele, isso pode causar distorções ou interferências nesse sinal.

Na figura 10, temos a comparação de uma portadora digital e analógica. Tanto uma como a outra ocupam uma banda de 6 MHz. Uma das diferenças importantes entre elas é que o analógico transmite apenas um canal dentro da banda, já no digital pode transmitir mais canais com melhor qualidade de imagem e áudio.

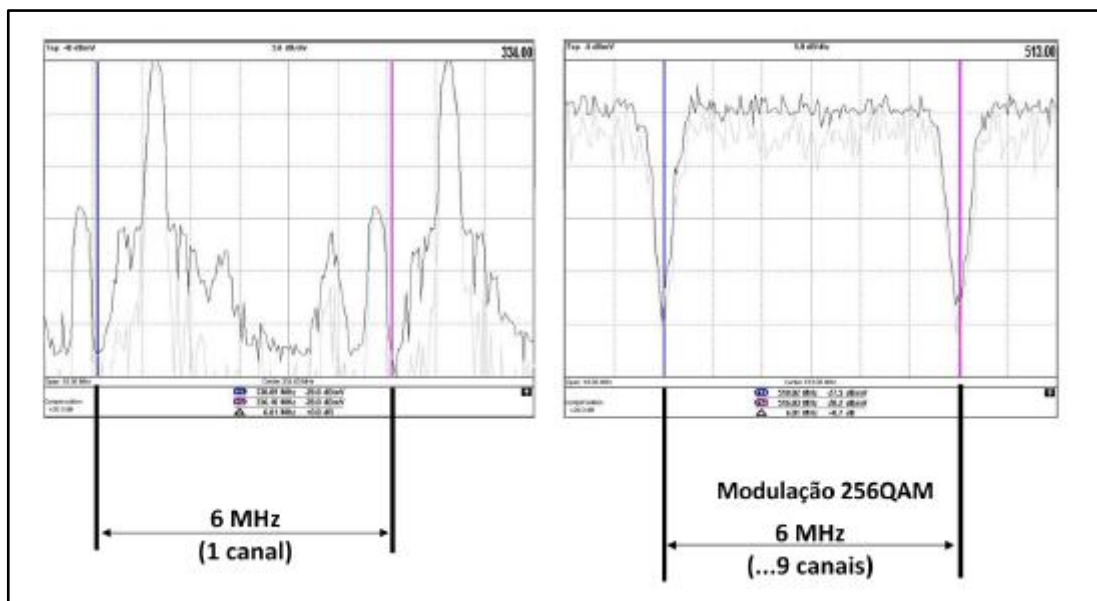


Figura 10 - Comparativo sinal analógico e digital

Fonte: Apostila ETN NET

A TV digital apresenta padrões e normas. As três mais conhecidas são:

- ATSC - Advanced Television System Comitee (Americano)
- DVB –T: *Digital Video Broadcasting* – Terrestrial (Europeu)
- ISDB–T: *Integrated System Digital Broadcasting* – Terrestrial (Japones)

No sistema digital os canais apresentam uma melhor qualidade de imagem. Quando falamos em qualidade de imagem isso significa mais taxa de transmissão de sinal, ou seja, bits por segundo. Uma imagem de vídeo de alta definição quando digitalizada, converte-se em um feixe digital de altíssima taxa de bits da ordem de 1Gbps, sendo uma velocidade incompatível para uma largura de banda de 6 MHz reservada para transmissão de um canal de TV. Por essa razão tornou-se necessário comprimir o feixe de digital de 1Gbps para uma taxa de bits de aproximadamente 20 Mbps.

Essa alta taxa de compressão foi alcançada pela aplicação de algoritmos de compressão denominada MPEG2, igualmente adotado nos padrões de TV Digital.

No Brasil o sistema adotado foi desenvolvido com base no sistema japonês ISDB-T. Esse sistema oferece uma série de diferenciais em relação aos sistemas de TV digital atualmente em funcionamento no mundo.

O padrão DVB é muito usado nas principais empresas de TV por assinatura. O DVB é um padrão europeu de televisão digital. É constituída por um consórcio entre 250 e 300 integrantes de 35 países dedicados a desenvolver padrões globais de entrega de TV digital e serviços associados.

O padrão DVB é designado de acordo com o serviço ao qual está vinculado. Podemos destacar:

- DVB-T – Transmissões terrestres em VHF (TV Aberta) e UHF (TV Convencional).
- DVB-S – Transmissões por satélite.
- DVB-C – Serviços de TV a cabo.
- DVB-H – Transmissão para dispositivos móveis, tais como celulares e tablets.

3.7 Transmissão do sinal no Headend

Dentro de um *Headend* o sinal então recebido dentro de um padrão vai para equipamentos chamados *IRDs* (Receptor e Decodificador Integrado). Sua função é converter um sinal radiofrequência em digital.

Com o sinal decodificado e disponível em IP, ele é levado até um multiplexador de canais. Essas plataformas farão o processamento de vídeo MPEG. Sua função é agrupar todos os canais em um mesmo equipamento para assim ser disponibilizado em um único caminho de saída.

Um dos modelos de multiplexador de canais é o DCM (*Digital Content Manger*). O DCM é uma plataforma MPEG compacta capaz de suportar um número

elevado de processamento de *stream* de vídeo. O *stream* de vídeo é a distribuição de dados através de pacotes. Com o DCM é possível receber diversos canais de fontes diferentes e reagrupá-los de acordo com a necessidade de transmissão.

A figura 11 mostra o diagrama que descreve os blocos funcionais de um DCM:

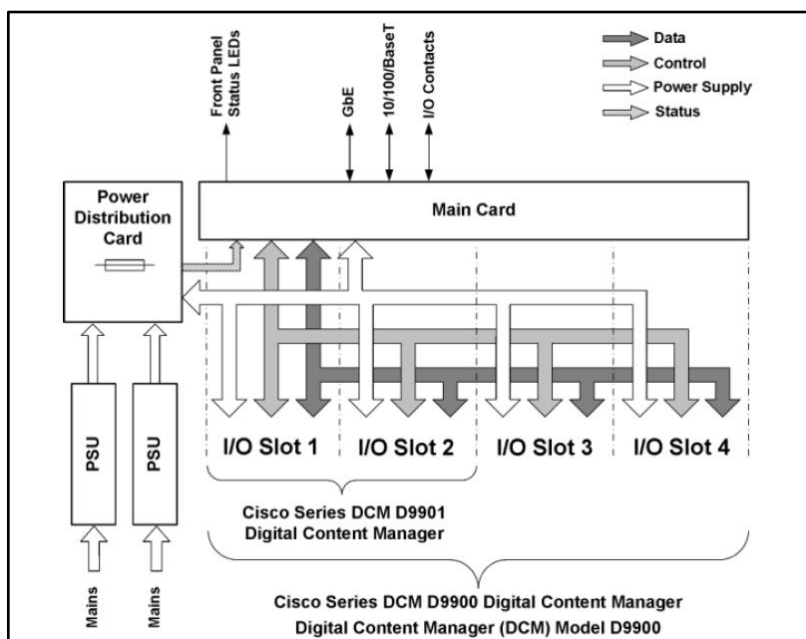


Figura 11 – Diagrama de DCM

Fonte: Manual da Cisco

Quando falamos em sinal digital, além de qualidade de imagem e som, temos recursos interativos como opções de troca de áudio, inserção de legenda e recursos com informações do programa como sinopse do programa, faixa etária e grade programação.

Essas informações são transmitidas através de tabelas dentro de um padrão de normatização DVB. Tabelas são conjuntos de dados e metadados que carregam informações que tornam a TV mais interativa e diversificada. Algumas tabelas são internas do padrão DVB e outras são geradas de acordo com a necessidade de cada operadora.

Os fluxos de dados são divididos em pacotes chamados *Packetizer Elementar Stream* (PES).

Como o *Transport Stream* possui vários programas e serviços, sua codificação é mais complicada. Faz-se necessário a utilização de metadados para dizer ao decodificador o que decodificar. Para isso existem tabelas de *Program Specific Information* (PSI). Na verdade, essas tabelas são pacotes padronizados.

Algumas tabelas PSI são:

- PAT (*Program Association Table*) – essa tabela carrega todos os programas que o *TransportStream* está carregando.
- CAT (*Conditional Access Table*) – se o *Transport Stream* for criptografado (fechado), essa tabela fornece informações de como o decodificador pode descriptografar.
- PMT (*ProgramMapTable*) – A PMT carrega todos os *Elementar Stream* que formam um programa.
- NIT (*Network Information Table*) – essa tabela carrega as informações de modulação, frequência modulada, nome da operadora de rede e nome e numeração dos programas do transporte.

Além das tabelas definidas no padrão MPEG-2, cada sistema de TV Digital pode definir novas tabelas. Entre elas temos as tabelas de serviços de informação definidas no padrão de TV Digital DVB. São elas:

- SDT (*Service Description Table*) - responsável por listar o nome e outras informações de todos os serviços que estão no *Transport Stream*.
- EIT (*Event Information Table*) – Essa tabela carrega informações dos eventos de cada canal. Informa o evento atual e os eventos passados e futuros. Informa horário de início, duração, descrição de cada programa apresentado dentro de cada canal. Essas informações são fornecidas pela programadora e geradas dentro de cada canal.
- TDT (*Time and Date*) – responsável em fazer a sincronização dos eventos da tabela EIT com o horário local. Essa tabela disponibiliza o

horário correto e sincroniza com os horários descritos por cada programadora.

O DCM então tem a função de agregar todas essas informações e enviá-las em um único meio. O sinal que sai de um DCM é no formato de IP. Para que esse sinal seja modulado e alocado em frequências dentro do espectro faz-se necessário a utilização de outro equipamento chamado modulador digital.

Existem vários fabricantes desses moduladores. Um dos mais utilizados pelas empresas de TV por assinatura é o RF Gateway desenvolvido pela Cisco, figura 12. Esse modulador é uma solução na modulação QAM proporcionando alta velocidade e largura de banda de dados. É um equipamento flexível que suporta vídeo digital, VOD(*video on demand*) e serviços de banda larga.



Figura 12 – RFGW

Fonte: Manual da Cisco

3.8 Modulação Digital

Modulação é a técnica de modificar sinais analógicos básicos de modo a neles codificar e transmitir informações digitais.

O sinal modulado é denominado a portadora, pois é ela que leva a informação digital desde o emissor até ao receptor ao longo da linha de transmissão. O dispositivo que realiza estas transformações de sinal na emissão chama-se modulador. O dispositivo que no sistema recebe e decodifica a informação digital que foi transmitida chama-se demodulador.

Existem então três tipos básicos de modulação:

- ASK - Modulação em amplitude

- FSK - Modulação em frequência
- PSK - Modulação em Fase

Existem ainda outros tipos híbridos de modulação, como por exemplo:

- QAM - *Quadrature Amplitude Modulation* - Modulação de quadratura e amplitude, que é um misto de modulação de amplitude e fase.

3.8.1 Modulação QAM (Quadrature Amplitude Modulation)

A modulação QAM combina a modulação PSK, onde a informação digital é transmitida através da variação da fase da portadora analógica e da modulação ASK, onde a informação digital é transmitida através da variação de amplitude da portadora analógica. Desta forma, na modulação QAM, tanto a fase como a amplitude da portadora variam de acordo com a informação digital a ser transmitida.

A modulação QAM é uma modulação em duas dimensões por deslocamento simultâneo de amplitude e fase, também conhecida como APSK (*Amplitude and Phase Shift Keying*).

Nesta forma de modulação, os símbolos são mapeados em um diagrama de fase e quadratura, sendo que cada símbolo apresenta uma distância específica da origem do diagrama que representa a sua amplitude. Isto significa que as informações são inseridas nos parâmetros de amplitude e quadratura da onda portadora e irão mudar de acordo com os bits do sinal modulante, que é composto de zeros e uns. Este tipo de modulação pode carregar mais informações que as modulações citadas anteriormente.

O diagrama deste tipo de modulação parece uma constelação. Podemos ter diferentes tipos de modulação pode ser 16 QAM, 64 QAM, 128 QAM e 256 QAM. O algarismo que vem antes da QAM define o número de posições que a portadora pode assumir no diagrama de constelação e conseqüentemente, o número de bits que podem ser transmitidos. Quanto mais bits mais informações podem ser transmitidas e maior será a banda ocupada pela transmissão.

Na figura 13, temos um exemplo de diagrama na modulação 16 QAM. São 16 símbolos cada um contendo 4 bits. A combinação desses 4 bits formam 16 símbolos diferentes.

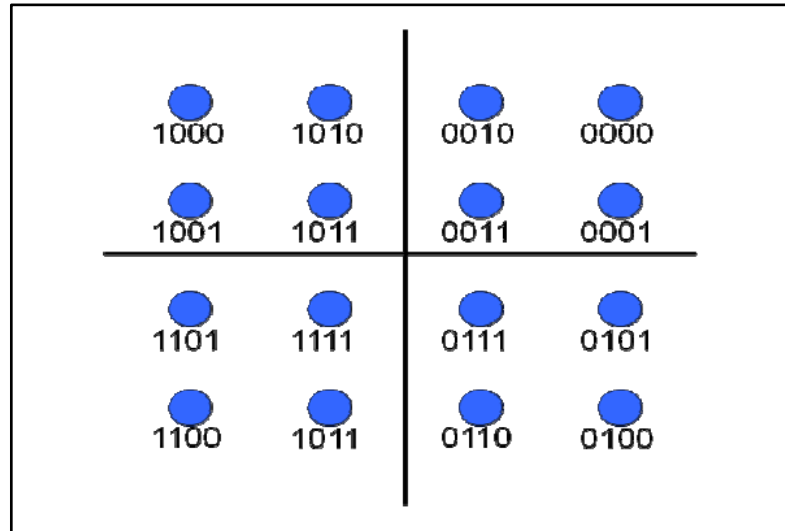


Figura 13 – Modulação 16 QAM

Fonte: <http://slideplayer.com.br/slide/1230299>

Na modulação 64 QAM teremos 64 símbolos e é representado conforme figura 14:

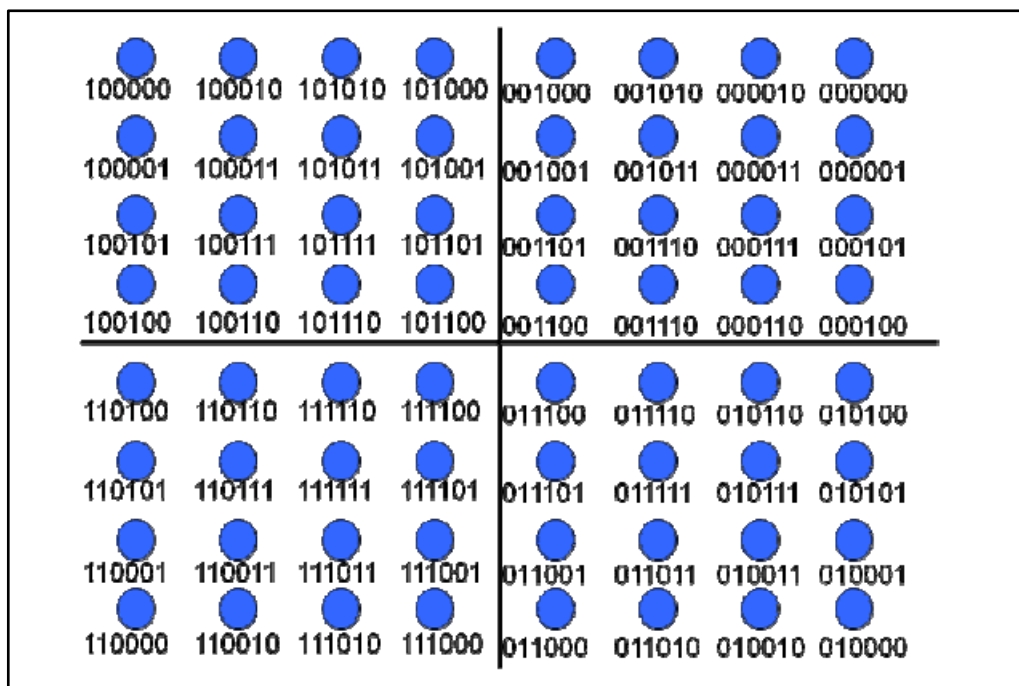


Figura 14 – Modulação 64 QAM

Na modulação 16 QAM cada símbolo é representado por 4 bits, como os bits podem ser apenas 0 ou 1, combinando todas as sequências possíveis teremos a formação de 16 símbolos. Como estamos trabalhando com números binários o número de símbolos será uma potência de 2 (2, 4, 8, 16, 32, ...). Cada conjunto de símbolos ocupará uma posição dentro da constelação. A cada instante de tempo o módulo e a fase do sinal representam um único símbolo contido no alfabeto de modulação. Quanto mais bits forem combinados, maior será a constelação e quantidade de símbolos.

Ao analisar as duas modulações observamos que no modo 16 QAM alcança-se uma taxa de transmissão menor do que no modo 64 QAM, uma vez que cada símbolo transporta um número menor de bits. No entanto, no modo 16 QAM, a distância entre os símbolos é maior do que no caso do modo 64 QAM. Isto permite que o modo 16 QAM possibilite uma melhor qualidade de serviço, pois a maior distância entre os símbolos dificulta erros de interpretação no receptor quando este detecta um símbolo.

Durante o processo de transmissão podem ocorrer erros de leitura desses símbolos. Esses erros de interpretação podem ser causados por distorções ou interferências no sinal modulado. As distorções são causadas por componentes da própria rede coaxial e que ocorrem em diversas frequências. Já as interferências são causadas por agentes externos e ocorrem em um determinado número de frequências. As mais comuns são causados por:

- Rádio FM
- Rádio AM
- Rádio amador
- Canais de VHF e UHF
- Ruídos impulsivos causados por equipamentos elétricos.

A análise do diagrama de constelação é maneira de medirmos a qualidade da transmissão na modulação QAM. Os pontos devem estar dentro de certos parâmetros para que tenhamos o mínimo possível de erros, ou seja, os pontos devem estar fixos e em uma posição definida.

Existe uma unidade de medida para este tipo de ruído chamado MER (*Modulation Error Ratio* ou relação de erro da modulação). O MER indica a relação entre a potência do sinal da portadora e a potência ou nível de ruído, através de um diagrama de constelação.

A modulação QAM é representada através de dois fatores ortogonais I e Q que indicam, respectivamente, a amplitude e a fase do sinal. Na figura 15, temos a representação da modulação QAM:

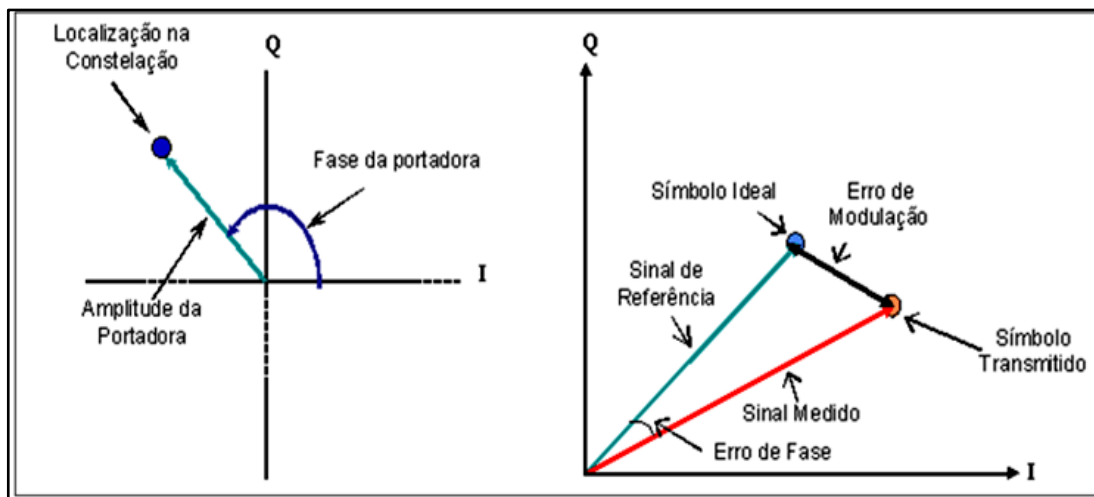


Figura 15 - Representação da Modulação QAM

Fonte: <http://slideplayer.com.br/slide>

Já vimos anteriormente que essas transmissões de símbolos podem sofrer alterações em sua propagação. Uma forma de analisar esses símbolos que podem ser corrompidos no processo de transmissão é o BER (*Bit Error Rate*). A taxa de erros de bits é definida como sendo a relação entre o número total de bits errados pelo número total de bits transmitidos. Os erros em um sistema digital podem ter diferentes comportamentos:

- Os erros intermitentes provocam eventuais erros espalhados na sequência binária
- O erro em rajada ocorre de modo a prejudicar uma sequência inteira de bits. Os erros em rajada são mais prejudiciais ao sistema uma vez que podem destruir grandes partes de informações.

Para representar os valores do BER usamos notação científica visto que o mesmo é uma relação entre um número pequeno por um número grande, ou seja, será sempre um número menor ou igual a 1.

Na tabela, 1 temos uma representação desses valores:

Decimal	Notação Científica	Taxa de Erro
1	1,0E+00	1 bit errado a cada 1 bit
0,1	1,0E-01	1 bit errado a cada 10 bits
0,01	1,0E-02	1 bit errado a cada 100 bits
0,001	1,0E-03	1 bit errado a cada 1.000 bits
0,0001	1,0E-04	1 bit errado a cada 10.000 bits
0,00001	1,0E-05	1 bit errado a cada 100.000 bits
0,000001	1,0E-06	1 bit errado a cada 1.000.000 bits
0,0000001	1,0E-07	1 bit errado a cada 10.000.000 bits
0,00000001	1,0E-08	1 bit errado a cada 100.000.000 bits
0,000000001	1,0E-09	1 bit errado a cada 1.000.000.000 bits

Tabela 1 – Bit Error Rate

Fonte: Apostila ETN NET

Quanto menor o número representado, menores são os erros e melhor será o sistema. Um canal digital de televisão é considerado perfeito quando possuir uma relação de erro de bit na ordem de $1,10E-10$, sendo que a degradação fica visível a partir de $1,10E-6$. Nesses casos entra em ação um fator de correção chamado FEC (*Forward Error Correction*). O FEC é formado por conjuntos de códigos detectores de erro que têm como função aumentar a probabilidade de recuperação da informação por parte do receptor. Na figura 16, temos uma amostra de um valor de BER que foi necessário a ação do FEC:

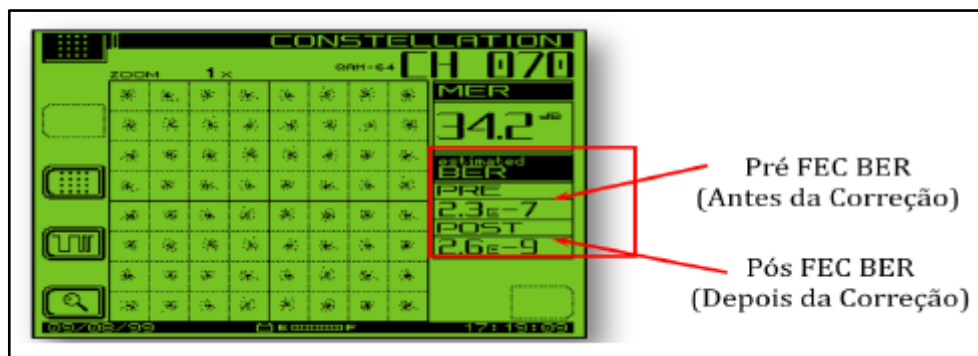


Figura 16 – FEC antes e depois

Fonte: Apostila Treinamento Técnico Rede externa NET

Com o sinal combinado com todos os canais analógicos e digitais podemos tratar da distribuição de sinal externo.

3.9 Distribuição de sinal no sistema CATV

Os primeiros sistemas de distribuição de sinais utilizavam apenas cabos coaxiais e vários amplificadores ligados em cascata. Sempre que os níveis ficavam muito baixos a ponto de comprometer a qualidade de imagem era instalado um novo amplificador. Nessa distribuição, figura 17, um cabo coaxial chamado cabo troncal saia do Headend e passava por várias regiões a serem atendidas. Esta forma de distribuição geravam dois grandes problemas. Primeiro, a instalação de vários amplificadores gera distorção no sinal num efeito acumulativo. Assim assinantes que moravam em áreas mais distantes recebiam o sinal com qualidade de sinal inferior em relação aos mais próximos. Outro problema em relação a essa arquitetura, é que caso um amplificador apresentasse problemas no começo da rede isso causaria na interrupção de sinal numa quantidade maior de assinantes.

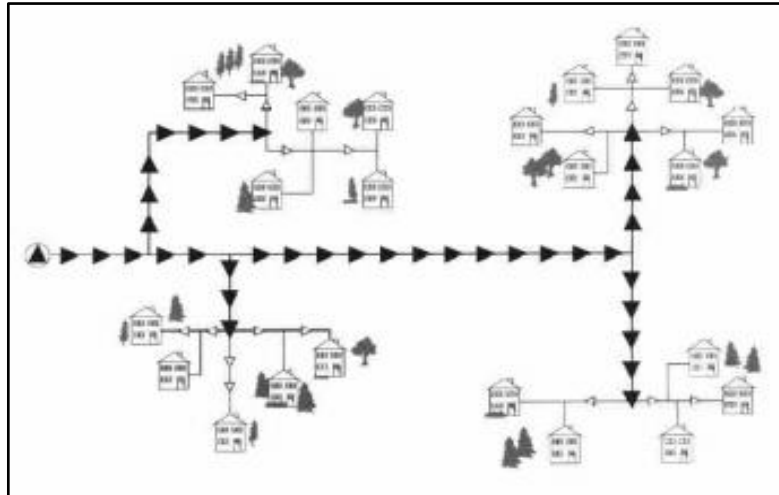


Figura 17 – Distribuição de sinal por cabo coaxial

Fonte: Apostila Treinamento Técnico Rede externa

Em vista desses problemas e para atender longas distâncias, foi criada uma nova estrutura baseado em sistemas óticos. Essa estrutura que mescla transmissão por fibra e cabo coaxial é chamada de rede HFC (*Hybrid Fiber Coax*). A principal característica desse sistema é a utilização de fibra ótica. A fibra ótica é um meio pela qual a luz se propaga de um determinado ponto a outro. Ela é composta por material dielétrico translúcido (material isolante e parcialmente transparente) e uma longa estrutura cilíndrica transparente e flexível de dimensões microscópicas da espessura de um fio de cabelo. A estrutura básica de uma fibra ótica é formada por uma região central chamado de núcleo e recoberta por uma camada chamada de casca conforme figura 18.

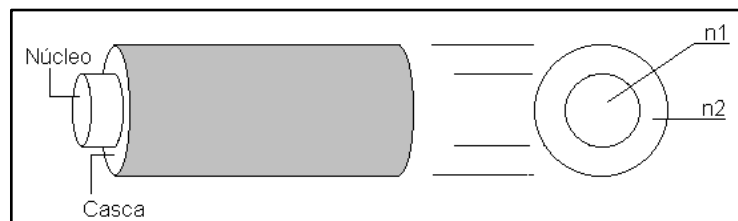


Figura 18 - Fibra Ótica

Fonte: Apostila Treinamento Técnico Rede externa

A propagação da energia luminosa através do núcleo se dá por meio de sucessivas reflexões. A fibra ótica apresenta uma grande capacidade de transmissão. No Headend temos um equipamento que converte o sinal de coaxial em faixa de luz. Como a frequência de luz é mais elevada que as usadas em cabos coaxiais a fibra permite a transmissão de serviços com banda e qualidades bem mais elevadas que numa rede coaxial.

A fibra ótica apresenta outras vantagens. Dentre elas podemos destacar:

- Baixa atenuação – isso permite enlaces de grandes distâncias sem necessidade de repetidores ou amplificadores.
- Largura de banda – A fibra possui uma largura de banda na ordem de 10^{12} que ainda está muito distante de sua utilização, devido à limitação dos equipamentos.
- Baixo peso – O cabo ótico possui um peso dez vezes menor que o cabo coaxial.
- Pequena dimensão
- Sigilo – A impossibilidade de se retirar ou injetar sinais óticos ao longo da fibra sem prejudicar o sistema.
- Isolação elétrica – Por se constituir de material dielétrico, vidro e plástico os terminais estão isolados eletricamente.

Com isso as redes de transmissão passam a mesclar estruturas óticas e coaxiais. Os cabos óticos levam o sinal até uma determinada região e lá é convertida para sinal coaxial. Desta forma, a operadora consegue fornecer uma qualidade de sinal semelhante em todas as áreas atendidas.

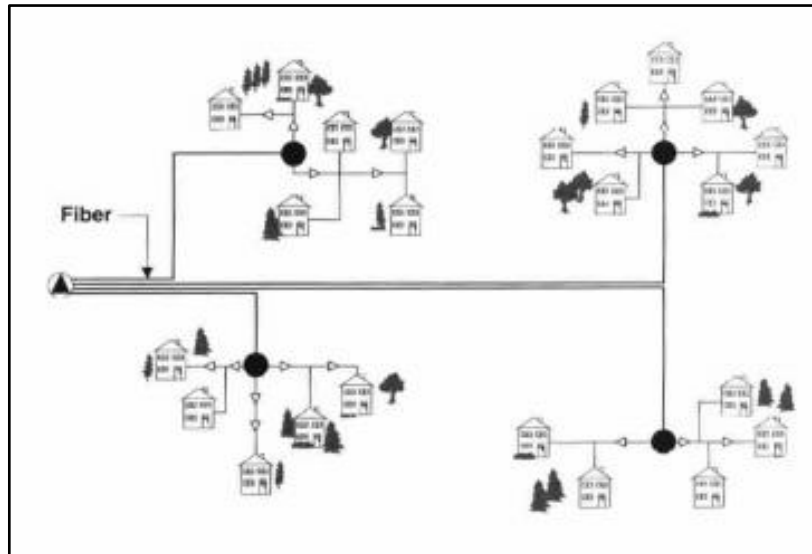


Figura 19 – Rede Híbrida de Fibra e Cabos – HFC

Fonte: Apostila Treinamento Técnico Rede externa

As informações transmitidas nesse sistema podem envolver canais analógico, digitais e sinais de internet e telefone. Nesses dois últimos serviços há necessidade de interação do cliente com os equipamentos do Headend, ou seja, o equipamento (decodificador ou modem) pode solicitar uma informação. Essa transmissão do assinante para o *Headend* é chamado de sinal de retorno. Essa transmissão de dados na rede HFC é utilizada no padrão DOCSIS (*Data Over Cable Services Interface Specification*). O *Cable Modem* realiza a interface entre a rede interna do cliente. Além disso, o *Cable Modem* é um tipo de modem para tráfego de dados sobre a rede de TV a cabo. O termo *Cable* vem da expressão *Cable TV*–CATV e o *Modem* de modulador ou demodulador. No Headend, o CMTS faz o roteamento e gerência das informações transmitidas pelo *Cable Modem* da rede HFC.

Para evitar conflito de acesso de *Cables Modems*, o CMTS gerencia os canais de acesso de acordo com o padrão TDMA (*Time Division Multiplexing Access*) ou acesso por divisão de tempo. Neste padrão, vários modems acessam o mesmo canal em tempos diferentes.

3.10 Medições de níveis de sinal

Com essa compreensão de transmissão de sinal no sistema CATV podemos tratar sobre a forma de medição dos níveis de sinal. A unidade de medida utilizada é o dBmV (decibel milivolt) para medições no cabo coaxial. Para o sinal ótico podemos utilizar duas unidades de medida o V(volt) e o dBm(decibel miliwatt).

Para compreender o modelo matemático dessas formas de medição primeiramente definiremos o decibel(dB) que é a medida da razão entre duas quantidades de potência, sendo usado para uma grande variedade de medições em acústica, física e eletrônica. A utilização dessa notação nos permite adicionar e subtrair ganhos e perdas ao longo dos blocos que compõe o sistema. Esta notação é logarítmica e surgiu da necessidade de se representar números muito grandes ou muito pequenos sem a necessidade de colocar muitos zeros.

O dB (decibel) é uma unidade logarítmica que indica a proporção de uma quantidade física (geralmente energia ou intensidade) em relação a um nível de referência especificado ou implícito. Uma relação em decibéis é igual a dez vezes o logaritmo de base 10 da razão entre duas quantidades de energia.

$$dB = 10 \log \left(\frac{P_s}{P_e} \right) \quad (1)$$

Onde:

P_s = Potência de saída medida em Watts.

P_e = Potência de entrada medida em Watts.

Essa unidade de medida é muito usada em equipamentos eletrônicos para dar uma ideia de quantidade de ganho ou perda em relação aos valores de potência.

Já as medições usadas no sistema de RF cujo meio de transporte é o cabo coaxial é o dBmV(decibel milivolt). Nesse caso é usado 1mV(milivolt) como referência. Para compreendermos essa relação precisamos lembrar de alguns conceitos físicos. Sabemos então por definição que:

$$P = \frac{V^2}{R} \quad (2)$$

Onde:

P = Potência medida em watts

V = Tensão medida em volts

R= Resistência medida em ohms

Substituindo a potência na expressão (1) chegaremos a relação dBV (decibel Volt) e tendo a tensão como referência. Assim chegaremos a seguinte equação:

$$dB = 10 \log \left(\frac{P_s}{P_e} \right) = 10 \log \left(\frac{\frac{V_s^2}{R}}{\frac{V_e^2}{R}} \right) \quad (3)$$

Como o valor da resistência é igual para todo o sistema chegamos a equação:

$$dBv = 10 \log \left(\frac{V_s^2}{V_e^2} \right) = 10 \log \left(\frac{V_s}{V_e} \right)^2 \quad (4)$$

Aplicando então uma das propriedades logarítmicas chegamos a seguinte equação:

$$dBV = 20 \log \left(\frac{V_s}{V_e} \right) \quad (5)$$

Onde :

dBv é medida em decibéis tendo como relação o volt

V_e é a tensão de entrada medida em volt

V_s é a tensão de saída medida em volt

No meio de transmissão de sinal por cabo coaxial adotou-se como padrão utilizarmos como medida o dBmV(decibel milivolt). Nesse sistema a referência de medida é 1milivolt. Sua equação é expressa como:

$$dBmV = 20 \log\left(\frac{V}{1mV}\right) \quad (6)$$

Onde:

dBmV é o valor em decibel em relação a 1 milivolt

V é o valor medido em volt

1mV é a unidade de referência(um milivolt)

Com essa fórmula chegamos a conclusão que 0dBmV é igual a 1 mV e que 1 V é igual 60 dBmV.

Outra unidade de medida utilizada em telecomunicações é o dBm(decibel miliwatt). Essa unidade é usada nas medições de nível de sinal em fibras óticas. A referência nesse caso é o 1miliwatt. O cálculo é realizado através da fórmula:

$$dBm = 10 \log\left(\frac{w}{1mw}\right) \quad (7)$$

Para que possamos compreender melhor como o sinal é distribuído dentro do Headend de tal forma que possa atender várias regiões, na figura 20 temos um diagrama do sinal modulado do RFGW (Modulador) até os transmissores de sinal responsáveis em distribuir esse sinal para todas as regiões.

Esses passivos atenuam o sinal de entrada de forma fixa e servem para atender várias regiões do qual são chamados de *nodes*. Com o sinal chegando ao transmissor o mesmo então exerce a função de converter esse sinal para ótico. Esses transmissores amplificam, aumentam o sinal e possuem valores fixos podendo ser de 3, 6, 9 ou 12 dBm. O valor numérico indica o valor ótico de saída do equipamento. Como temos uma variação de 3 dB entre os transmissores, para que o ajuste fique mais preciso podem ser usados atenuadores óticos com a função de diminuir o sinal caso o mesmo esteja acima do esperado. As regiões que serão atendidas por esse sinal apresentam distâncias diferentes e uma característica do sinal ótico é a diminuição do seu sinal de acordo com a distância. Com isso, um *node* com uma distância mais próxima do Headend exige menos nível de sinal do que um mais distante.

4 ETAPAS DA MODELAGEM E CONSTRUÇÃO DOS MODELOS MATEMÁTICOS NA ÁREA DE TELECOMUNICAÇÕES

Conforme visto a área de telecomunicações é bem abrangente e diversificada. Construir modelos matemáticos dentro dessa área exigiu tempo, dedicação e envolvimento com outras áreas, pesquisa a vários materiais didáticos e consulta a pessoas mais experientes. Para a construção de um modelo foi necessária a análise de vários manuais técnicos, materiais disponibilizados pelos fabricantes e a exploração de alguns conceitos físicos.

Trabalho em um setor composto de 8 técnicos, todos sênior e com responsabilidades iguais. O grupo inclui os técnicos mais experientes e com mais conhecimento da empresa. Todos tem curso técnico e estão cursando curso superior. O grupo trabalha em sistema de escala 24h em todos os dias por semana. Nesse regime de escala, reunir todos os técnicos é difícil. Para realizar o processo de análise e criação dos modelos utilizados nos equipamentos, foram conversado com os técnicos em diferentes horários. A experiência de cada turno foi extremamente importante na análise, pois algumas atividades como configuração de novos *nodes* são realizados apenas na madrugada.

A escolha de um tema foi algo que envolveu atenção especial. Buscamos junto aos coordenadores e gerentes sugestões de assuntos que poderiam ser trabalhados e que seria útil ao dia a dia dos técnicos. Fizemos um levantamento de possíveis assuntos que poderiam ser investigados e das informações que tínhamos sobre esses assuntos.

Outro fator ponderado na escolha do assunto foi o interesse e conhecimento dos técnicos que trabalham na área. Os técnicos demonstraram interesse e percebeu-se que o assunto ainda não havia sido abordado de forma aprofundada dentro da área do *Headend*.

Percebemos que um problema que tínhamos era o tempo que muitas vezes levávamos para ajustar o sinal de um *node*. Até então tínhamos uma ideia da funcionalidade dos equipamentos no *Headend* (os transmissores). Estávamos bem

familiarizados com esses equipamentos, porém na parte externa, ou seja, no receptor ótico localizado no *node* não se tinha um estudo do processo de conversão do sinal ótico para coaxial. Faltava-nos uma noção mais clara do nível de sinal ideal e por isso as configurações eram baseadas em tentativa e erro. Tínhamos um técnico em campo que ficava com um medidor e íamos alterando os transmissores e atenuadores até chegarmos a um valor de sinal que estivesse dentro das especificações do *receiver* (equipamento instalado no *node* que faz a conversão do sinal ótico para coaxial). Com isso, despendíamos muito tempo até chegarmos a uma configuração que disponibilizasse um nível de sinal ideal.

Buscamos então na área de projetos e rede os manuais específicos do fabricante desses modelos de *receiver*. Observamos que essa área dispunha de vários materiais úteis para nossa pesquisa. De posse desse material, começamos uma investigação profunda e chegamos à conclusão de que teríamos condições necessárias para esclarecer nossos questionamentos.

Nossa intenção era compreender a relação entre o valor de sinal ótico configurado no *Headend* com a distância até o *node*. Com essa ideia poderíamos previamente saber qual transmissor usar e quanto o sinal precisaria ser atenuado. Assim saberíamos qual o melhor nível de sinal ótico a ser configurado na saída dos transmissores no *Headend* para cada *node*. Ficou claro que para cada *node* o valor do sinal seria diferente visto que cada um deles apresenta uma distância diferente.

O nosso objetivo então é analisar as variáveis que envolvem a conversão para sinal ótico no *receiver* e tornar as configurações mais assertivas. Com isso espera-se uma diminuição no tempo de execução e eficiência nos procedimentos aplicados.

Na parte de *coletas de dados* foi estudado o processo de conversão de coaxial para ótico no transmissor instalado no *Headend* e no processo inverso de ótico para coaxial realizado no *node* pelo *receiver*.

4.1 Transmissor Digital

Na Figura 21, temos a imagem de um transmissor. Conforme informado, sua função é converter o sinal de coaxial em ótico. O sinal coaxial é conectado na parte traseira do equipamento e então, na parte frontal, é convertido para ótico. O valor de saída desse sinal vai depender do transmissor a ser instalado e do valor do atenuador que pode ser instalado na saída do transmissor. Outro fator importante é que para que esse transmissor funcione adequadamente o valor de sinal de entrada precisa estar dentro de um parâmetro que varia entre 14,5 dBmV e 15,5 dBmV. Chegando o sinal dentro desse intervalo o fabricante garante a qualidade ideal da conversão para ótico.

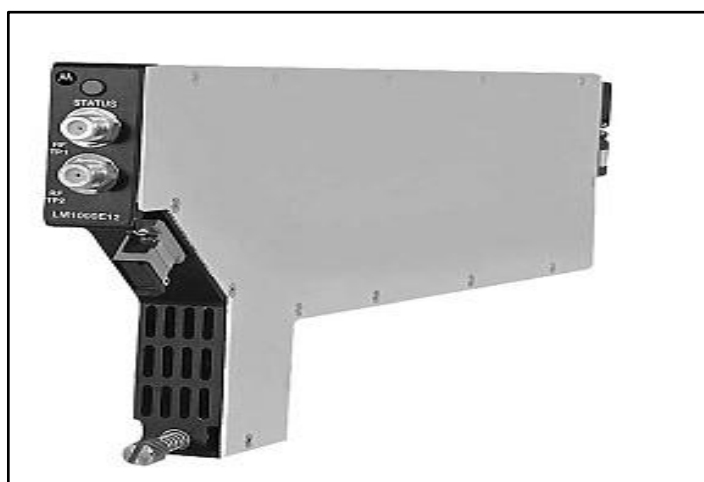


Figura 21 – Transmissor Motorola

Fonte: Manual do fabricante da Motorola

O diagrama desse tipo de transmissor está na figura 22. Nesse transmissor temos duas entradas coaxiais uma chamada de *Narrowcast* onde entra o sinal do virtua (internet) e Net fone e a *Broadcast* onde entram os sinais de TV digital, analógico e o VOD(*video on deman*).

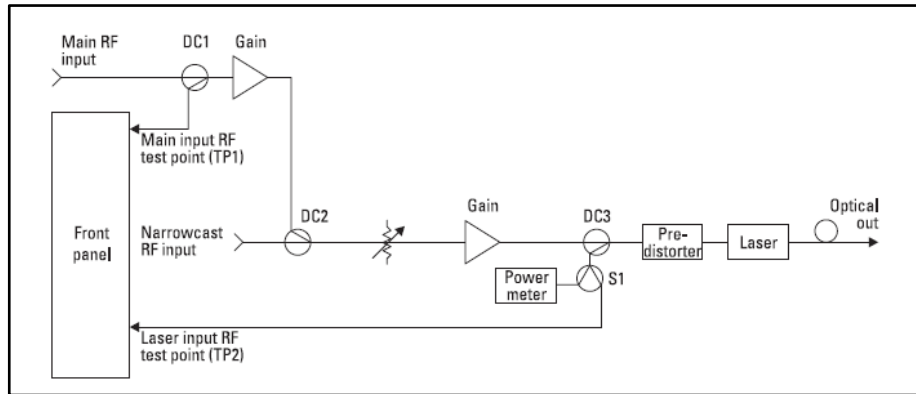


Figura 22 – Diagrama transmissor Motorola

Fonte: Manual do fabricante da Motorola

Esse sinal convertido para ótico é transmitido por fibra até uma determinada região que pode abranger um bairro ou até mesmo uma cidade. Parte da nossa investigação consistiu em consultar manuais dos fabricantes e colegas de outros setores da empresa para compreender a funcionalidade e características do receptor ótico que está instalado na região. Com essas informações poderíamos configurar de uma forma mais adequada os valores de sinal ótico a ser enviados pelos transmissores. Na figura 23, temos um diagrama do sinal a ser transmitido desde o *Headend* até o assinante.

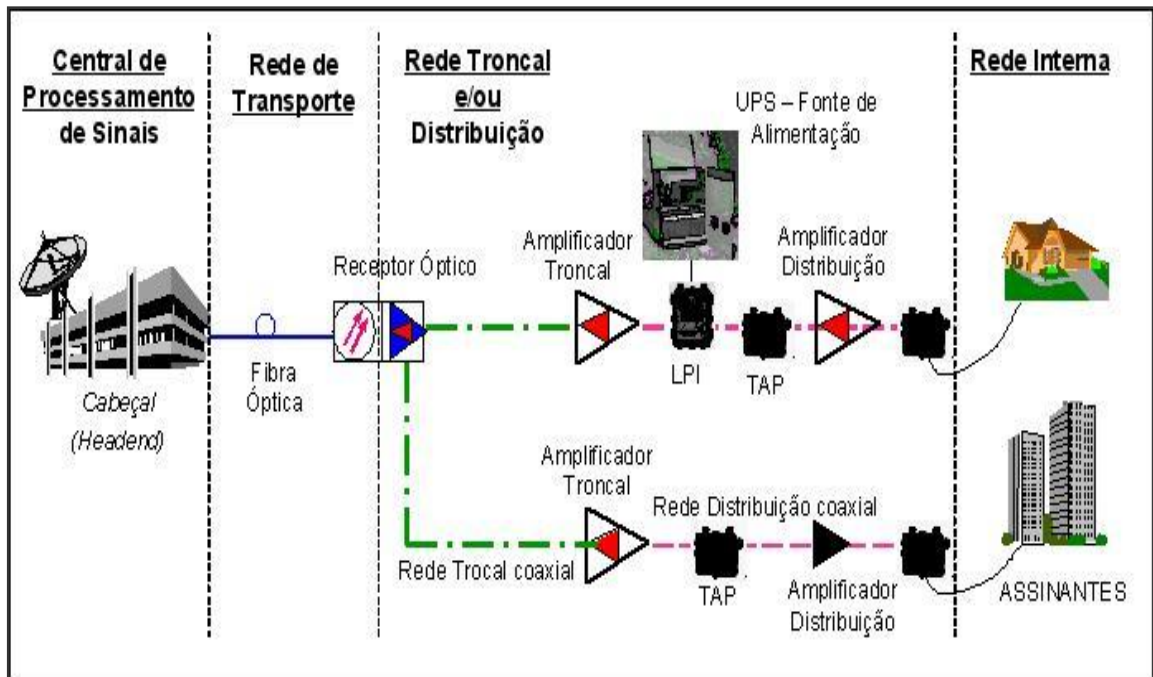


Figura 23 – Diagrama rede HFC

Fonte: Apostila Treinamento Técnico Rede externa

Conforme já escrito os valores de sinal ótico sofrem atenuações de acordo com a distância. O fabricante informa que a cada quilômetro o nível de sinal ótico diminui em média 0,22 dBm. No *Headend* dispomos de um equipamento chamado OTDR (*Optical Time-Domain Reflectometer*) que nos mostra a distância do *Headend* até a região a ser atendida. Com isso precisamos configurar o nível de sinal ótico de tal forma que possa compensar a perda decorrente da distância e chegar um valor dentro de um intervalo entre -3dBm e +2dBm.

Observou-se nesses dados uma oportunidade de desenvolver um modelo matemático. Chegamos a seguinte conclusão que o valor do sinal a ser transmitido do *Headend* seria o valor do transmissor subtraindo os valores do atenuador e da perda durante a transmissão do *headend* até o *node*. Com os valores dos transmissores, atenuadores e a distância chegamos ao nosso primeiro modelo matemático:

$$x = TX - At - (dist * 0,22) \quad (8)$$

Onde,

X é o valor do sinal ótico que vai chegar no *Receiver* (receptor ótico).

TX é o valor do transmissor no *Headend*. Esse valor será sempre maior que zero e assumirá valores fixos de 3, 6, 9 e 12.

At é o valor atenuado na saída do transmissor. Esse valor é um número inteiro e varia de 1 a 12

dist é a distância do *Headend* até o *node*. Esse valor será sempre maior que zero e dado em quilômetros.

Considerando que o valor ideal a chegar no *Receiver* seja de 0 dBm podemos considerar $x=0$. Isolando o valor de "TX" a ser usado, chegamos à equação:

$$TX = At + (dist * 0,22) \quad (9)$$

Se na saída do transmissor não for colocado nenhum atenuador teremos $At=0$. Assim chegamos a seguinte equação:

$$TX = dist * 0,22 \quad (10)$$

A análise da equação (10) é de grande importância. Temos que o valor do “TX” e da distância são grandezas diretamente proporcionais. Ou seja, quanto mais distante a região em relação ao *Headend* maior deverá ser o valor do TX. Esses equipamentos são extremamente caros e quanto mais potência de sinal ótico transmitem, maior o seu valor monetário. Com isso, quando se vai escolher um local para construção de um *Headend* em uma região é de vital importância que se busque um local o mais centralizado possível, pois com isso evita-se que sejam utilizados transmissores com valores muito altos.

Com o auxílio do Winplot e considerando o TX como uma função da distância podemos chegar ao seguinte gráfico 1:

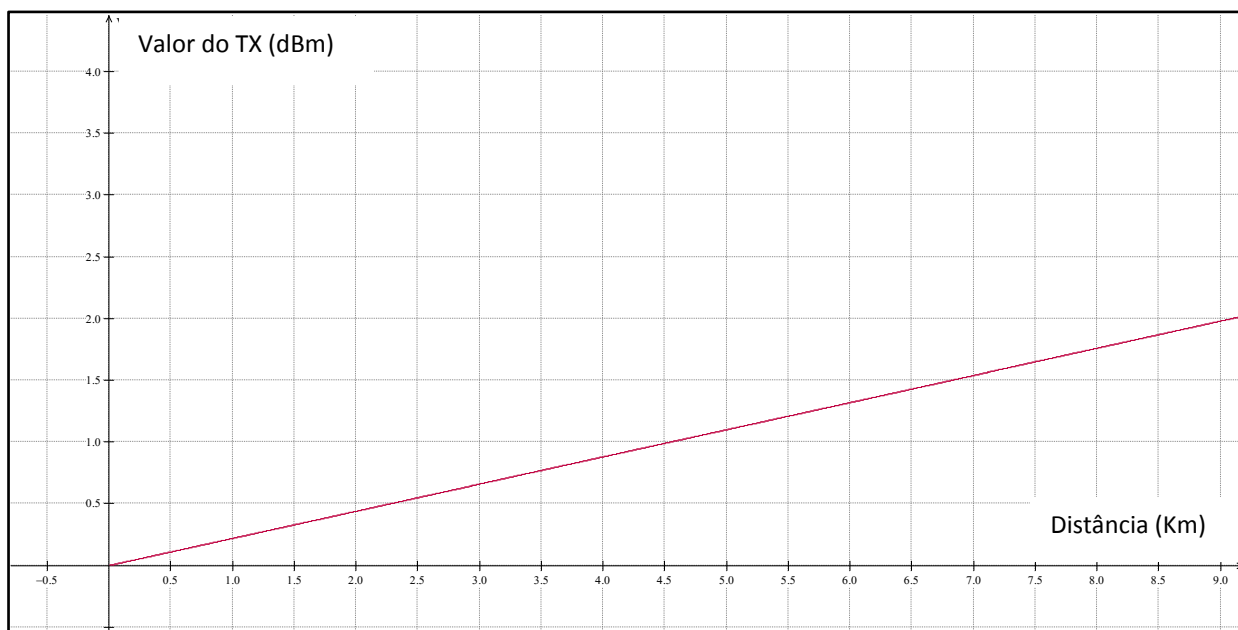


Gráfico 01 – TX x Distância

Outra forma de análise da equação (10) é investigando a distância máxima que cada transmissor pode atender. A distância mínima para todos os valores de transmissor é zero visto que qualquer transmissor pode ser atenuado em sua saída o valor total que está transmitindo. Vale lembrar que nessa análise não estamos considerando as perdas que podem ocorrer devido a emendas ou pontos de irregularidade na fibra ótica.

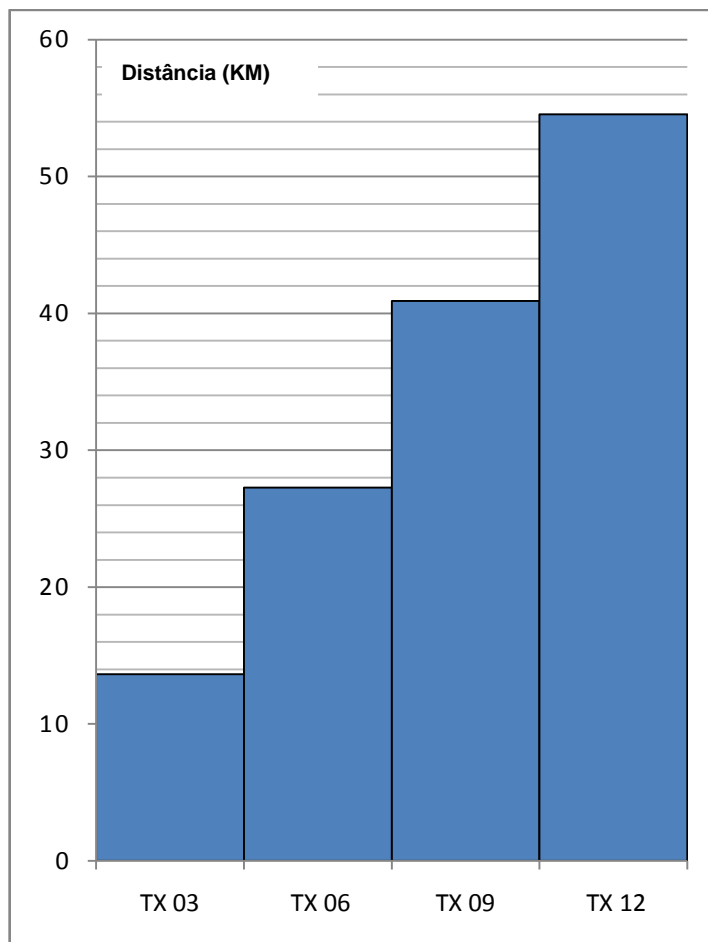


Gráfico 02 – Distância máxima que cada transmissor pode atender

Esses dados facilitam na elaboração de um projeto para atender uma nova região, pois sabendo a distância que o *Headend* ficará das regiões a serem atendidas pode-se comprar o material de uma forma que possa gerar economias e melhor aproveitamento dos transmissores.

4.2 Receiver SG 4000

O sinal ótico que sai do *Headend* será transmitido por fibra ótica até uma determinada região. Nessa região haverá um Receiver (receptor ótico) cuja função será converter o sinal ótico em coaxial. Um dos mais utilizados é o SG-4000 (Figura 24) fabricado pela Motorola. Esse equipamento executa conversões de sinais de onda de luz para coaxial e de coaxial para onda de luz em um link de transmissão

ótica. Esses equipamentos são instalados ao ar livre por isso apresenta uma carcaça de alumínio de alta qualidade impedindo a exposição ao tempo e interferência de ruídos indesejáveis. Uma de suas características é receber sinal de um único link e poder de derivar em novos links.



Figura 24 – SG 4000 da Motorola

Fonte: Manual do fabricante da Motorola

O SG 4000 apresenta algumas especificações para o seu correto funcionamento. O nível de sinal ótico que deve entrar nele deve estar no intervalo de -5dBm a +3dBm. Com os níveis de sinal dentro desse intervalo o fabricante garante um correto funcionamento sem perdas de pacotes. Buscamos então nos manuais do fabricante uma relação entre essas diferentes formas de medição. Com isso poderíamos compreender melhor que modelo matemático estava por trás no processo de conversão do sinal ótico para coaxial.

No manual do fabricante temos a seguinte relação e intervalo de valores aceitáveis:

Nível de Entrada Ótica		TP Volts	Output (dBmV)	Comentários
dBm	mW			
3,0	2,00	2,00	50	Alarme - Nível Alto
2,5	1,78	1,78	49	Normal
2,0	1,58	1,58	48	Normal
1,5	1,41	1,41	47	Normal
1,0	1,26	1,26	46	Normal
0,5	1,12	1,12	45	Normal
0,0	1,00	1,00	44	Ideal
-0,5	0,89	0,89	43	Normal
-1,0	0,79	0,79	42	Normal
-1,5	0,71	0,71	41	Normal
-2,0	0,63	0,63	40	Normal
-2,5	0,56	0,56	39	Normal
-3,0	0,50	0,50	38	Normal
-3,5	0,45	0,45	37	Normal
-4,0	0,40	0,40	36	Normal
-4,5	0,35	0,35	35	Normal
-5,0	0,32	0,32	34	Alarme - Nível Baixo

Tabela 03 – Valores de níveis de sinal

Fonte: Manual do fabricante da Motorola

Com base nos dados da tabela 3 começamos uma investigação sobre quais modelos estavam envolvidos em cada relação de medida. O propósito então era chegar a uma associação do nível de sinal enviado do *Headend* com a distância.

4.3 Processo de formulação dos modelos

De posse dessas informações buscamos compreender cada uma dessas formas de medição. Nosso objetivo foi buscar um modelo matemático em cada associação e dessa forma interpretá-lo e relacioná-lo com o sinal enviado do *headend*.

Nosso grupo de oito técnicos buscou compreender e identificar a relação das diferentes formas de medição. Como éramos os técnicos responsáveis em realizar

as configurações e ajuste do sinal até o *receiver*, queríamos ter uma noção de proporção entre o sinal enviado do Headend e o sinal após ser convertido para coaxial na região.

Na tabela 3 podemos identificar três formas diferentes de medição do sinal ótico. São eles o dBm(decibel miliwatt), mW(miliwatt) e (v)volt. Fica claro nos pontos de testes desse receptor que temos as mesmas medidas tanto em mW quando em volt. Essa é uma característica específica do equipamento. Passamos então a analisar a relação dBm com Volt. Após investigações e consultas a livros de física temos que:

$$dBm = 10 \log(mW) \quad (11)$$

Como nesse equipamento a medição em volt é igual à medição em mW podemos concluir que:

$$dBm = 10 \log(V) \quad (12)$$

Nosso próximo passo foi determinar relação entre dBm e dBmV. Na tabela 3 observa-se que para cada 0,5 dBm há uma variação de 1 dBmV; também percebe-se que em 0 dBm temos 44 dBmV. Com esses dados podemos chegar ao seguinte modelo:

$$dBmV = (2 * dBm) + 44 \quad (13)$$

Para encontramos a relação entre dBmV e Volt usamos as equações $dBm = 10 \log(V)$ e $dBmV = (2 * dBm) + 44$. Substituindo a equação(12) em (13) temos:

$$dBmV = 2 * (10 \log(V)) + 44 \quad (14)$$

Simplificando, chegamos à equação:

$$dBmV = 20 \log(V) + 44 \quad (15)$$

Essa relação é importante para um técnico em telecomunicações, pois na ausência de um equipamento que forneça uma medida em dBm, com um simples multímetro que forneça medidas em volts podemos descobrir o valor que vai sair em dBmV.

Na relação (15), se considerarmos $\log V = x$ e $\text{dBmV} = y$, temos uma função afim crescente do tipo $y = 20x + 44$.

Se quisermos saber o comportamento dessa equação tendo como parâmetro o volt chegamos a seguinte equação:

$$V = 10^{\left(\frac{\text{dBmV}-44}{20}\right)} \quad (16)$$

Onde:

V é o valor medido no ponto de teste do *Receiver*;

dBmV é o valor medido na saída do *Receiver* após a conversão do sinal de ótico para coaxial.

As expressões (15) e (16) nos indicam o modelo matemático no processo de conversão do receptor ótico medido em volt para um sinal em coaxial medido em dBmV . Essas expressões são válidas e de grande importância visto que nem todos os técnicos possuem medidores que forneçam o valor de sinal em dBmV . Esses equipamentos são caros e chegam a custar 4 vezes mais do que um multímetro que forneça valores em volt .

Para validar o modelo elaboramos uma tabela substituindo os valores de v e obtendo os valores em dBmV , que estão de acordo com a tabela 4:

V	dBmV
0,3	33,5424
0,4	36,0412
0,5	37,9794
0,6	39,5630
0,7	40,9020
0,8	42,0618
0,9	43,0849
1	44,0000
1,1	44,8279
1,2	45,5836
1,3	46,2789
1,4	46,9226
1,5	47,5218
1,6	48,0824
1,7	48,6090
1,8	49,1055
1,9	49,5751
2	50,0206

Tabela 4 – Relação volt com dBmV

A análise gráfica da relação dBmV e Volt é de vital importância para compreendermos melhor a relação entre essas duas grandezas.

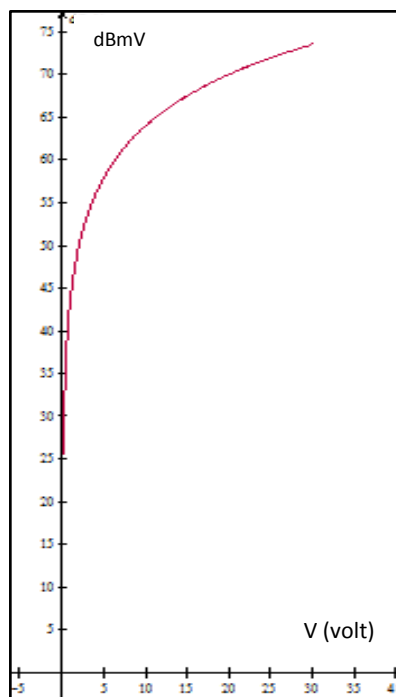


Gráfico 3 – Relação Volt com dBmV

Podemos então perceber que uma pequena variação em voltem valores próximos de zero gera uma grande variação em dBmV. Do contrário, quando v se afasta de zero por valores maiores a variação do dBmV diminui. Isto pode ser conferido na tabela 5:

Variação em V			Variação em dBmV a cada 0,1 V
0,3	a	0,4	2,4988
0,4	a	0,5	1,9382
0,5	a	0,6	1,5836
0,6	a	0,7	1,3389
0,7	a	0,8	1,1598
0,8	a	0,9	1,0231
0,9	a	1	0,9151
1	a	1,1	0,8279
1,1	a	1,2	0,7558
1,2	a	1,3	0,6952
1,3	a	1,4	0,6437
1,4	a	1,5	0,5993
1,5	a	1,6	0,5606
1,6	a	1,7	0,5266
1,7	a	1,8	0,4965
1,8	a	1,9	0,4696
1,9	a	2	0,4455
2	a	2,1	0,4238

Tabela 05 – Variação de volt em cada 2dBmV

Com essas informações se soubermos o valor o nível de sinal ótico, medido em volt, que está chegando no *receiver*, saberemos o valor do sinal convertido para coaxial medido em dBmV. Para facilitar a visualização e os cálculos nesse processo de conversão, elaboramos uma planilha eletrônica onde existiriam campos em que colocaríamos dados como valor do transmissor, atenuação utilizada e distância do node e saberíamos então o valor de saída em dBmV no *receiver*. Essa planilha possibilita que o técnico antes de ajustar ou configurar um novo transmissor possa já ter uma ideia do valor do sinal que deve atender um *node*

Para chegarmos a um modelo que atendesse essas informações foi necessário rever alguns modelos que já havíamos encontrados e analisados. A

figura 29 especifica as adaptações necessárias com a utilização da planilha eletrônica.

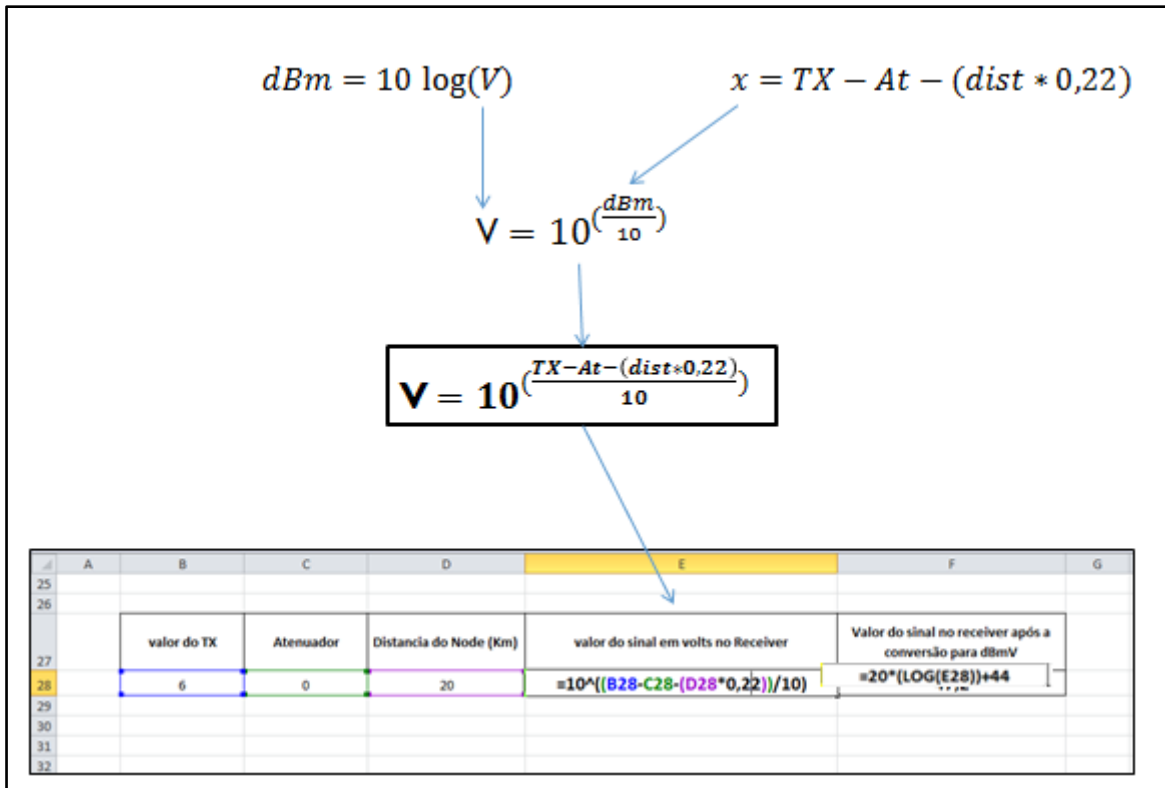


Figura 29 – Esquema do Modelo desenvolvido

Fonte: Elaborado pelo autor

O modelo (12) nos dá a relação entre dBm e volt. A relação inversa, ou seja, volt e dBm nos dá a seguinte equação:

$$V = 10^{\frac{dBm}{10}} \quad (17)$$

Como dBm é o sinal o valor do sinal ótico que chega no *receiver*, substituindo pela equação $x = TX - At - (dist * 0,22)(1)$:

Teremos o modelo:

$$v = 10^{\left(\frac{TX - At - (dist * 0,22)}{10}\right)} \quad (18)$$

Onde:

V é o valor medido em volts na entrada do receiver

TX é o valor do transmissor medido em dBm

At é o valor a ser atenuado na saída do transmissor medido em dBm

dist é a distância do Headend ao node medido em quilômetros

De posse dessas informações, pensamos em uma forma prática de utilizar a equação 19. Como se tratava de muitas variáveis utilizamos planilhas eletrônicas. Na tabela 6 temos uma representação da planilha desenvolvida:

	A	B	C	D	E	F	G
25							
26							
27		valor do TX	Atenuador	Distancia do Node (Km)	valor do sinal em volts no Receiver	Valor do sinal no receiver após a conversão para dBmV	
28		6	0	20	=10^((B28-C28-(D28*0,22))/10)	47,2	
29							
30							
31							
32							

Tabela 6 – Valor recebido em volt

Nessa planilha temos campos ou células onde podemos colocar os valores de distância, transmissor e atenuador. Com esses dados podemos saber o valor do sinal medido em volt no *receiver*.

Nessa mesma planilha eletrônica desenvolvida e com os conhecimentos da equação (15) acrescentamos em uma nova célula com as informações dos valores medidos após a conversão para coaxial. Dessa forma já saberíamos os valores em dBmV após o processo de conversão de ótico para coaxial.

	A	B	C	D	E	F	G
25							
26							
27		valor do TX	Atenuador	Distancia do Node (Km)	valor do sinal em volts no Receiver	Valor do sinal no receiver após a conversão para dBmV	
28		6	0	20	1,445439771	=20*(LOG(E28))+44	
29							
30							
31							
32							

Tabela 7 – Valor convertido para dBmV

Para exemplificarmos, fixamos alguns valores para analisar o comportamento dessas variáveis, os quais são:

TX= 06 dBm

dist =20 Km

Nessa situação teríamos como variável o valor do atenuador que é instalado na saída do transmissor. Geralmente não dispomos de todos os valores de transmissores e o mais encontrado é o de 6dBm. Nesse caso, a distância é fixa . Esse valor de 20 km geralmente é a região mais distante dos headends.Com isso chegaremos a seguinte expressão:

$$V = 10^{\left(\frac{6-At-(20*0,22)}{10}\right)} \quad (19)$$

Simplificando chegaremos a expressão:

$$V = 10^{\left(\frac{1,6-At}{10}\right)} \quad (20)$$

Nessas condições chegamos ao seguinte gráfico:

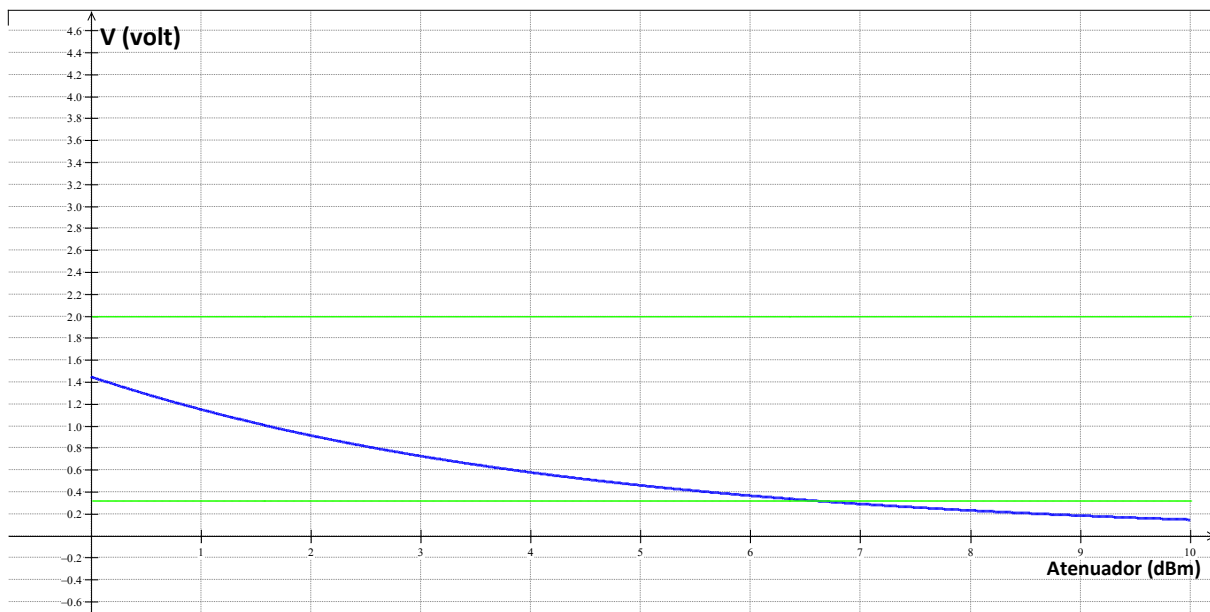


Gráfico 04 – Relação Volt x Distância

As linhas paralelas do gráfico indicam o limite do valor aceitável indicado pelo fabricante do *receiver* que é entre 0,3 e 2 volt. Nesse caso percebe-se então que se atenuarmos 1 ou 2dBm chegaremos a um nível ótico ideal ou seja perto de 1 volt. Se atenuarmos mais de 7dBm estaremos com o valor abaixo do padrão e não garantiremos um boa qualidade de sinal.

5 PROPOSTA DE MINICURSO

Com base nos modelos explorados e criados, elaborei uma proposta de minicurso a ser desenvolvido com os técnicos do setor onde trabalho. Percebeu-se que, no processo de análise dos modelos utilizados no sistema de TV a cabo já existentes, alguns conhecimentos matemáticos não tinham sido aprendidos no curso técnico. Isso se dá, pois em curso técnico de telecomunicações o conteúdo é ensinado de uma forma abrangente para atender todas as áreas pois envolve diferentes meios de comunicação e transmissão de sinal. Sendo assim, alguns conteúdos mais específicos acabam não sendo abordados.

1. Objetivo:

Meu objetivo ao implantar um minicurso é ensinar alguns conteúdos que não foram explorados ou que não ficaram claro aos técnicos.

2. Metodologia

A matemática aplicada tem sido um dos meios de aproximar a matemática à vida real. Ela proporciona a possibilidade de relacionar e esclarecer os conceitos físicos. Um método de utilizar a matemática aplicada é através da modelagem matemática.

Nesse minicurso utilizarei as etapas ensinadas por Bassanezi para analisar alguns modelos matemáticos que envolvem o processo de conversão de sinal ótico para coaxial. Nesse processo daremos ênfase nos conhecimentos matemáticos necessários para a criação, compreensão e interpretação dos modelos envolvidos.

3. Tempo Estimado do Curso

O tempo aproximado do minicurso será de 3 horas.

4. Plano de Ensino

- Breve explicação sobre os equipamentos envolvidos no processo de conversão de sinal de coaxial para ótico instalado no Headend e o

processo de conversão de ótico para coaxial instalado em uma determinada região.

- Explicação sobre o receptor ótico SG 4000 apresentando a tabela 03 onde é mostrado o intervalo de valor aceitável para um correto funcionamento e a associação das diferentes formas de medição.
- Mostrar e analisar a relação de cada forma de medição e se aprofundar nos conhecimentos matemáticos envolvidos.
- Trabalhar com os conceitos de logaritmo, função afim, proporcionalidade e regra de três.
- Analisar variação do sinal gerado pelo Headend e o sinal após convertido para coaxial no receptor ótico. (tabela 4)

5. Recursos

Quadro, caneta e apagador;

6. Projetor com tela

Folhas e canetas para os técnicos realizarem suas escritas

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A área de telecomunicações tem como base a transmissão de sinal de ponto a ponto. Nesse processo de transmissão de sinal existem vários equipamentos envolvidos. Grande parte do processamento deles é baseado em modelos matemáticos. A compreensão desses modelos é extremamente necessária para o domínio por parte dos técnicos que trabalham nessa área. A matemática, com seu poder de síntese e lógica, tornou-se um instrumento necessário na formulação e compreensão dos conhecimentos físicos envolvidos no assunto. Os transmissores de sinal ótico e receptores são exemplos claros que podem ser explorados a partir de uma perspectiva do entendimento das aplicações da matemática. Nosso foco foi dado ao processo de conversão de sinal de ótico para coaxial realizado pelo *receiver* SG4000.

O processo de modelagem matemática é algo que envolve tempo, criatividade e interesse do grupo. Precisa haver senso investigativo ao realizar pesquisas e se aprofundar no assunto proposto. É preciso dedicação e envolvimento para que possa se tornar algo prazeroso e produtivo.

Os conhecimentos obtidos com Bassanezi(2002) e Biembengut(2003) nos ajudaram a compreender melhor o que se espera no processo de obtenção de um modelo matemático.

A modelagem apresentada nesse trabalho tem como essência o campo científico. Nesse processo abriram-se oportunidades de inter-relacionar conteúdos de matemática e física de uma forma mais aplicada. Nesse processo a matemática foi fundamental para validação dos modelos criados.

As etapas sugeridas por Bassanezi(2002) no processo de modelagem matemática foram nossa base e direção para investigação dos modelos já criados e dos que foram desenvolvidos.

Primeiramente buscou-se um tema que estivesse de acordo com os interesses da equipe e que ajudasse na resolução de problemas cotidianos na área

técnica. Para chegarmos a esse assunto consultamos os gestores da área e analisamos se tínhamos um material adequado que nos ajudasse a aprofundar nossos conhecimentos.

Com um tema bem definido, foram analisados os modelos já utilizados pelos técnicos do setor, tendo como material de pesquisa manuais dos equipamentos e consultas a técnicos de outra áreas da empresa afim de coletarmos dados suficientes para nossas análises. Foram investigados os modelos matemáticos que envolviam a conversão do sinal ótico para coaxial no *receiver*. Nesta etapa encontramos oportunidades de criação de novos modelos.

A formulação dos modelos foi o momento onde analisamos matematicamente os conceitos envolvidos em cada modelo. Nesse processo foram revistos alguns conhecimento matemáticos. Ao rever esses conhecimentos, observou-se que grande parte desses conteúdos não haviam sido bem compreendidos pelos colegas, durante os cursos técnicos. Foi uma oportunidade importante de ajudá-los a aplicarem esses conhecimentos matemáticos nas suas atividades diárias.

Ao abordar e investigar novas formas de representação do modelo que envolvia uma relação de conceitos houve aprofundamento dos conhecimentos matemáticos. Esses conhecimentos foram determinantes na compreensão do processo de conversão de sinal de ótico para coaxial e dos modelos envolvidos, tanto os existentes quanto os novos que foram criados a partir da análise das necessidades do setor. Nesse processo compreendemos a importância de uma configuração adequada e que qualquer variação, por menor que seja, gera uma diferença considerável no processo de conversão de ótico para coaxial.

O modelo matemático esclareceram algumas dúvidas dos problemas enfrentados nas atividades do dia a dia dos técnicos. Nesse processo de revisão dos modelos matemáticos já existentes e na criação dos novos modelos, houve um acréscimo significativo nos conhecimentos técnicos do grupo.

Percebeu-se que utilizando esse método de estudo chegaram-se as conclusões obtidas e esta análise do processo de construção dos modelos contribuiu para o desenvolvimento profissional dos técnicos envolvidos.

7 REFERÊNCIAS

BIEMBENGUT, Maria Salett; HEIN, Nelson. **Modelagem Matemática no Ensino**. 3ª edição, São Paulo: Editora Contexto, 2003.

D'AMBRÓSIO, U. **Educação Matemática: da teoria à prática**. Campinas: Papyrus, 1996. 121p.

BASSANEZI, Rodney Carlos, **Ensino-aprendizagem com Modelagem Matemática: uma nova estratégia**. São Paulo: Editora Contexto, 2002.

GUIMARÃES, Dayan A., SOUSA, Rausley A. **Transmissão Digital: Princípios e Aplicações**. 1ª edição, São Paulo: Editora Érica, 2012. 320p.

LATHI, B. P. **Sistemas de Comunicação**, 1ª edição, Rio de Janeiro; Editora Guanabara Dois, 1979. 401p.

FILHO, Raimundo G. Nóbrega. Redes de Comunicação de Dados. Acesso <<http://www.di.ufpb.br/raimundo/Tutoredes/Meios.htm>>. Consultado em 25/03/2014

Revista Mackenzie de Engenharia e Computação. <http://www.mackenzie.br/fileadmin/Editora/Revista_enge/padroes.pdf>. Consultado em 25/03/2014

Anatel. <<http://www.anatel.gov.br/Portal/exibirPortalNivelDois.do?codItemCanal=1538&nomeVisao=Informa%E7%F5es%20T%E9cnicas&nomeCanal=Radiofrequ%Eancia&nomeItemCanal=Ondas%20Eletromagn%E9ticas%20e%20as%20Pessoas>> consultado em 13/04/2014

Introdução Sistema CATV <<http://www.youblisher.com/p/299935-Introducao-a-CATV/>> Consultado em 25/03/2014

ATX. Manual do fabricante <http://www.atxnetworks.com/pdf/ANW0662_MN_RFSplitCombSpecs.pdf> Consultado em 26/03/2014