

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

DANIEL PELICHEK

**Estudo da Telemetria para Aquisição, Processamento e
Transmissão de Dados em Sistemas Remotos**

São Carlos
2009

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

**Estudo da Telemetria para Aquisição, Processamento e
Transmissão de Dados em Sistemas Remotos**

Monografia de conclusão de curso de
Engenharia Elétrica com ênfase em
Eletrônica pela Escola de Engenharia de
São Carlos da Universidade de São Paulo

Área de Concentração: Telemetria

Orientador: Prof. Dr. Manoel L. de Aguiar

São Carlos

2009

RESUMO

Sistemas de telemetria são aqueles que têm o objetivo de transmitir dados entre dois ou mais pontos remotos, distribuídos em uma área pré-determinada. Em termos de transmissão, este sistema nada difere de um sistema de transmissão convencional. Diferencia-se na origem dos dados. Estes dados são oriundos de um instrumento, e depois de serem modulados são transmitidos para a estação base. Em uma melhor definição deste conceito, pode-se abordar a análise semântica da palavra, cuja origem provém da aglutinação de dois termos gregos: *tele* = distância e *metron* = medição. Assim, estes sistemas geralmente são usados em aplicações que necessitem de algum tipo de monitoramento remoto, permitindo assim uma condição mais propícia para qualquer eventual decisão que tenha que ser tomada. Esta monografia visa apresentar um estudo qualitativo sobre o tema telemetria, analisando os subsistemas que o compõem e propor uma metodologia para a elaboração de um projeto, baseada na análise de um sistema de telemedição executado nos medidores eletrônicos dos consumidores da CPFL Energia.

Palavras-chave: Telemetria; Instrumentação; Aquisição de Dados

ABSTRACT

*Telemetry systems are those which have the goal of transmitting data between two or more remote spots, spread among a pre-allocated area. In terms of transmission, there are no differences of conventional transmission systems. The main difference is where these data came from. These data are generated by instrumentation system and after been modulated, they are transmitted to master site. Another explanation consists on analysis of word semantic, whose provenance came from two Greek terms: *túle* = distance and *métron* = metering. Thus, these systems are usually useful in applications that need some kind of remote metering, allowing the best condition to take decisions. This paper wants to show a qualitative study about telemetry, analyzing all subsystems that compose it and propose procedures to design this kind of system, based on analysis of a system that have been implemented in CPFL Energia's costumers.*

Keywords: Telemetry; Instrumentation; Data Aquisition

Sumário

RESUMO.....	i
ABSTRACT	ii
Lista de Siglas	iv
Lista de Figuras	v
Lista de Tabelas	vi
1. Introdução	1
1.1. Objetivos do Trabalho	4
1.2. Organização do Texto	4
2. Revisão Bibliográfica.....	5
2.1. Instrumentação e Aquisição de Dados	5
2.1.1. Aquisição de dados	5
2.1.2. Características dos Sensores.....	7
2.1.3. Tipos de Sensores	9
2.1.4. Sistemas de Interface.....	10
2.2. Meios de Comunicação	11
2.2.1. Comunicação Sem Fio	11
2.2.1.1. Espectro Eletromagnético	11
2.2.1.2. Rádio-Frequência	12
2.2.1.3. Radiação Infravermelha	16
2.2.2. Comunicação Via Cabo.....	17
2.3. Modos de Comunicação.....	19
2.3.1. Modulações	19
2.3.1.1. Espalhamento Espectral (<i>Spread Spectrum</i>)	21
2.3.2. Protocolo de Comunicação.....	21
3. Metodologia de Projeto	24
3.1. Instrumentação	24
3.2. Módulo de Processamento.....	27
3.3. Módulo de Transmissão	27
4. Telemedição.....	30
5. Conclusão	40
6. Sugestão para Trabalhos Futuros	41
7. Referências Bibliográficas.....	42

Lista de Siglas

1xRTT: *1x Radio Telephone Technology (CDMA2000)*

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANATEL: Agência Nacional de Telecomunicações

CCD: *Charged-Coupled Device*

CCEE: Câmara de Comercialização de Energia Elétrica

CDMA: *Code Division Multiple Access*

CPFL: Companhia Paulista de Força e Luz

dB: Decibel

dBm: Decibel relativo a 1mW

GED: Gerenciamento Eletrônico de Documentos

GPRS: *Global Packet Radio Service*

GPS: *Global Positioning System*

GSM: *Global System for Mobile Communications*

HF: *High Frequency*

HFC: *Hybrid Fiber Coax*

IP: *Internet Protocol*

IrDA: *Infrared Data Association*

ISO: *International Standards Organization*

LD: *Laser Diode*

LED: *Light-Emitting Diode*

NASA: *National Aeronautics and Space Administration*

NAT: *Network Address Translation*

NMEA: *National Marine Electronics Association*

ONS: Operador Nacional do Sistema

OSI: *Open Systems Interconnection*

RF: Rádio-Freqüência

SCDE: Sistema de Coleta de Dados de Energia

TI: Transformador para Instrumentos

TP: Transformador de Potencial

UHF: *Ultra High Frequency*

VHF: *Very High Frequency*

VPN: *Virtual Private Network*

Lista de Figuras

Figura 1.1 – Painel de leitura de dados nos boxes.....	2
Figura 1.2 – Análise geral dos dados obtidos	3
Figura 1.3 – Diagrama de blocos de um sistema de telemetria.....	3
Figura 2.1 – Diagrama de um sistema de instrumentação	6
Figura 2.2 – Espectro eletromagnético	12
Figura 2.3 – Representação das camadas do modelo OSI	22
Figura 4.1 – Medidor ELO2180.....	32
Figura 4.2 – Módulo de processamento ADTS.....	35
Figura 4.3 – Módulo de transmissão CDMA C18 Motorola.....	36
Figura 4.4 – Arquitetura do sistema de telemedição	37

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 – Características dos sensores.....	8
Tabela 2.2 – Tipos de sensores.....	9
Tabela 2.3 – Resumo das características por faixa de frequências (I).....	15
Tabela 2.4 – Resumo das características por faixa de frequências (II).....	16
Tabela 2.5 – Exemplo de técnicas de transmissão.....	20
Tabela 3.1 – Requisitos de um sistema de telemetria	24

1. Introdução

William Thomson, cientista inglês mais conhecido como Lord Kelvin, certa vez enunciou: *'If you are able to measure something, then you are in a position to talk about it'* [1]. Em outras palavras, só é possível saber mesmo do que se trata um problema se a pessoa souber a medida exata dele, para, conseqüentemente, tomar as decisões mais convenientes para solucioná-lo.

Os primeiros sistemas de telemetria datam do século XIX, embora não tão moderno como os atuais, visto que, este sistema acompanha o desenvolvimento paulatino dos componentes elétricos e eletrônicos,

Em meados de 1930, há registros de um balão, equipado com transceptores de RF, que era usado para captar informações sobre o clima. No entanto, o real avanço ocorreu durante a Segunda Guerra Mundial, quando a eletrônica finalmente assumiu um papel de real importância na indústria bélica. A necessidade armamentista de um projétil certo impulsionou as pesquisas sobre telemetria na época, e logo ao fim da guerra, enquanto os países do Eixo atacavam com mísseis V2, os Aliados retaliavam com mísseis radio-controlados. Embora este desenvolvimento tenha sido satisfatório, sempre que um projétil era lançado com um dispositivo eletrônico, este perdia sua funcionalidade devido ao impacto com o solo. Esta diminuição de vida útil traz uma desconfiança na coerência das informações, acarretando na desaceleração do ritmo do progresso na área. Outro avanço também surgiu com a idéia de se usar este conhecimento para adquirir informações de aeronaves enquanto estivessem voando. Estas informações deveriam ser gravadas em um sistema a bordo, e quando fosse desejável, transmitidas via rádio.

Com o passar do tempo, os lançamentos começaram a ser tão eficientes que bateram a incrível margem de 99,2% de acerto [3]. Com isso, a experiência adquirida nestes lançamentos de mísseis e o uso de transmissores de RF culminaram em uma disputa tecnológica pela exploração do espaço, protagonizada pelos EUA e pela União Soviética. Em 1958, foi fundada a NASA [3], com intuito de intensificar esta exploração. Assim, vários objetos, como transmissores de RF, foram postos em órbita com sucesso, incentivando o lançamento de satélites artificiais que se tornaram, atualmente, uma das bases da comunicação global.

Popularmente conhecida como uma técnica aplicada nos carros de Fórmula Um, a telemetria, atualmente, tem tido bastante projeção em aplicações para a indústria. Para Fórmula Um, uma coleção de sensores avaliam o comportamento do carro, volta a volta, e transmitem estas informações para uma estação nos boxes. Estas leituras

possibilitam ao engenheiro de pista determinar uma regulação para que se tenha um desempenho melhor no próximo teste. Em grandes prêmios é comum a transmissão de imagens de uma câmera *onboard* ao carro e de alguns indicadores de velocidade, conta-giros, etc. São atribuídos a estes indicadores valores instantâneos capturados do carro via telemetria. As figuras 1.1 e 1.2 [2] mostram a funcionalidade da telemetria em dois aspectos: em tempo real durante um teste ou corrida e uma análise de todos os pontos obtidos em voltas de teste ou corrida, respectivamente.



Figura 1.1 – Painel de leitura de dados nos boxes [2]

Um sistema de telemetria pode ser constituído pelos blocos como representado na figura 1.3, em que propriedades do sistema monitorado são capturadas por sensores transformando-se em informações que são moduladas e transmitidas para uma estação base que manipula estas informações de forma a usá-las como parâmetro para alguma atividade.

Nesse sentido, o sistema atua como um sistema de monitoração remota. Em um caso mais amplo, ao receber estas informações, o sistema ou o operador podem detectar alguma anomalia na atividade do sistema em questão, ou simplesmente uma alteração do comportamento ideal, e alterá-lo através de um comando que é enviado por ele próprio através da estação base. Nesse caso, o sistema de telemetria atua como um sistema de atuação e monitoração remota.

Assim, esta alteração pode ser percebida em tempo real através da leitura efetuada constantemente pelo sistema, como se o operador estivesse efetuando uma alteração em um objeto ao seu alcance.



Figura 1.2 – Análise geral dos dados obtidos [2]

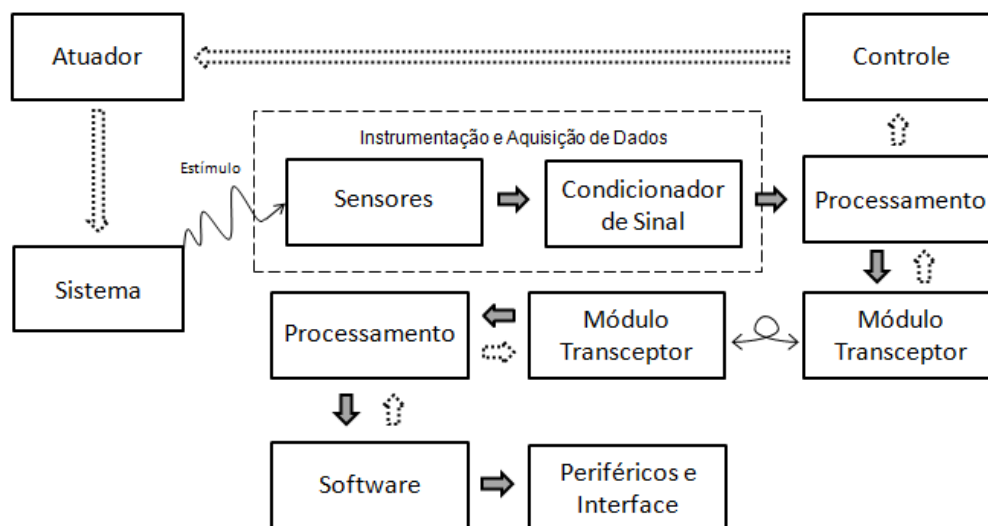


Figura 1.3 – Diagrama de blocos de um sistema de telemetria

Nesse contexto, a instauração de sistemas que permitam a leitura dos medidores de energia remotamente torna-se uma tendência. Com essa leitura é

possível que a empresa economize recursos em diversas formas. Em contrapartida, a confiabilidade destes sistemas ainda esta sendo observada. Por essa razão, a teleleitura só é aplicada em clientes de alta tensão.

1.1. Objetivos do Trabalho

Este trabalho tem como objetivo a proposição de uma metodologia para elaboração de um projeto de telemetria, baseado na compreensão dos diversos subsistemas que o compõem, na análise das paridades entre os projetos consultados nas referências bibliográficas e, finalmente, na análise completa de um projeto de telemedição aplicado aos consumidores de alta tensão conectados à rede de distribuição do grupo CPFL Energia. Este projeto de telemedição é analisado, também, em comunhão com a metodologia proposta.

Como consequência, outros objetivos como os ganhos pessoais podem ser citados. Ganhos pessoais na experiência de elaboração de um trabalho deste porte, na motivação que impulsiona este trabalho, como a conclusão da graduação, na pesquisa das características de um sistema que possui ampla aceitação no mercado, que emerge com grande potencial, devido à enorme quantidade de equipamentos que se beneficiam do seu serviço, acarretando em uma redução de custos operacionais, de seguros e um aumento na eficiência. Assim, possibilitando um retorno financeiro, em curto prazo, relevante.

1.2. Organização do Texto

Os capítulos se dividem de forma a promover um entendimento adequado do sistema de telemetria. Capítulo 2 define algumas fundamentações teóricas necessárias para o bom entendimento do sistema. Capítulo 3 apresenta uma metodologia para o desenvolvimento de um projeto. Capítulo 4 analisa um projeto de telemedição desenvolvido para os clientes de alta tensão do grupo CPFL Energia. Capítulo 5 conclui esta monografia.

2. Revisão Bibliográfica

Este capítulo reflete o levantamento teórico que foi efetuado para a compreensão de um sistema de telemetria. Assim, divide-se por função que cada subsistema é responsável, como pode ser visto na figura 1.3.

2.1. Instrumentação e Aquisição de Dados

A instrumentação é fundamental em aplicações de telemetria, pois é esta que executa as leituras e fornece os dados que interessam ser transmitidos e monitorados. Estes dados, em termos de grandezas elétricas, são sinais de carga, frequência, tensão ou corrente, proporcionais à atividade que este sistema consegue mensurar. Por serem grandezas elétricas, os dados podem ser modulados e transmitidos, contemplando a estrutura do sistema à distância. Toda a fundamentação teórica esta baseada nas referências [4] e [5].

2.1.1. Aquisição de dados

Um sistema de instrumentação pode ser representado em blocos [5]:

- Sensor: sua função é converter uma grandeza física em uma grandeza elétrica.
- Alimentação: proporciona energia ao sensor para que este realize sua função.
- Condicionadores de sinal: existem para manipular o sinal de resposta do transdutor, criando uma interface entre os dispositivos que permita uma leitura clara dos sensores
- Periférico: dispositivo que demonstra o que está sendo medido, que grava este sinal, ou até mesmo que realiza as duas funções.
- CPU: em sistemas mais complexos podem ser usados para que a informação seja apresentada em gráficos ou relatórios. Além disso, podem ser usados para determinar sincronia entre os dispositivos.
- Gerador de comando: é um dispositivo que gera uma saída pré-estabelecida para que seja comparada à do conjunto de medição.

- Controlador/atuator: atua diretamente no sistema através de um sinal de erro gerado pela diferença ponderada entre o sinal de comando e do conjunto de medição.

Dessa forma, dependem da aplicação a que se destina este conjunto, os recursos necessários, definindo duas possíveis finalidades a este conjunto: análise para garantir um desempenho eficiente e confiável; e monitoração provendo uma análise em tempo real que permita um ajuste manual, por intermédio de um operador, ou automático, através de atuadores controlados em malha fechada. Alguns destes blocos podem ser observados na figura 2.1.

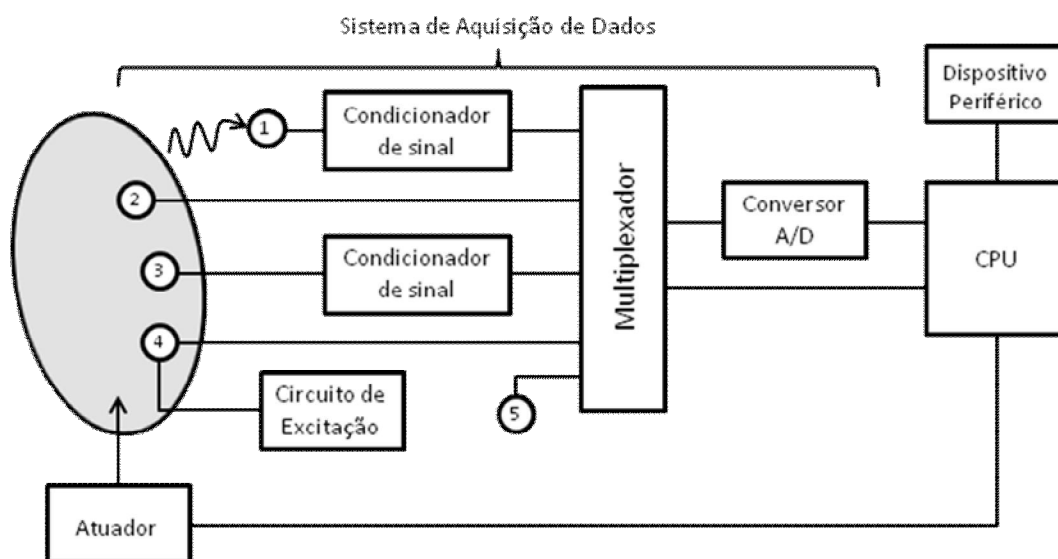


Figura 2.1 – Diagrama de um sistema de instrumentação [4]

A partir da figura 2.1 observa-se que o CPU seleciona as amostras provenientes do sistema através de um duto de endereço conectado ao multiplexador. Desta forma, os sinais contínuos de saída dos sensores são amostrados no multiplexador e convertidos para um sinal digital, no conversor A/D. Este conversor é ligado, então, à porta de entrada do CPU. As informações provenientes dos sensores podem ser enviadas ao dispositivo periférico ou comparadas, pelo CPU, com um valor padrão pré-determinado para análise das condições deste sistema. Se as leituras efetuadas estiverem fora dos padrões estabelecidos, um sinal é enviado ao atuador, o qual executa uma mudança nestas condições que podem ser constatadas em tempo real pelo sistema.

No que diz respeito aos sensores, este diagrama é bastante genérico, pois representa sensores ativos (sensor 4) e passivos (restante), sensores de contato físico (2, 3 e 4) e de não contato (1 e 5) e sensores que precisam ou não de um condicionamento de sinal.

2.1.2. Características dos Sensores

Basicamente, a diferença entre transdutor e sensor é que um transdutor é um dispositivo que converte uma grandeza em outra qualquer e o sensor, um dispositivo que recebe um estímulo, de qualquer natureza, e o traduz em um sinal elétrico [4]. Por estímulo, denota-se a entrada de uma propriedade física que deva ser mensurada. Portanto, qualquer sensor é um conversor de energia. Além disso, se não há transferência de energia, ainda pode haver transmissão de informação, pois a informação obtida é a de que não há energia a ser medida.

Nesse contexto, quando um sensor não é capaz de efetuar, sozinho, a leitura de uma grandeza específica, outro transdutor pode ser usado, de forma indireta, na aquisição de dados. Neste caso é estabelecida uma linha de transdutores que atuam em seqüência para medir uma determinada grandeza. Nesta seqüência, o elemento final é sempre um sensor, pois o objetivo final é o sinal elétrico. Assim, um sensor pode ser classificado em duas categorias: sensores diretos, os quais são capazes de mensurar uma grandeza independentemente; e os sensores complexos, os quais são constituídos por um ou mais transdutores que traduzem uma grandeza para um sensor direto.

Pode-se, ainda, dividi-los em outros tipos de categorias. Desta forma, os sensores podem ser ativos ou passivos. Sensores ativos necessitam de excitação externa para que possam exercer sua atividade. Esta excitação é modificada pelo sensor para que seja produzida a tensão de saída. O termistor é um exemplo de sensor ativo. Sensores passivos modificam diretamente um sinal elétrico, proveniente do circuito o qual está conectado, através do estímulo a que for submetido. O termopar é um exemplo de sensor passivo. Outra classificação divide os sensores em relativos e absolutos. Absolutos são aqueles que determinam suas medidas em função de uma escala física absoluta, independente de outras condições, enquanto os relativos produzem em sua saída um sinal baseado em uma referência. Os termistores (absolutos) e termopares (relativos) são dois exemplos que corroboram esta classificação.

Quando faz a conversão de energia, um sensor pode realizar diversas etapas antes de produzir o sinal de saída. Considerando o instrumento como uma 'caixa preta', ou seja, desconsiderando sua natureza, tipo ou número de etapas necessárias para a conversão, obtém-se um conjunto de propriedades que são comuns a todos. A tabela 2.1 apresenta algumas destas características.

Tabela 2.1 – Características dos sensores [4]

Características dos Sensores	
Precisão	Entrada de Fundo de Escala
Histerese	Saída de Fundo de Escala
Calibração	Banda Morta
Erro de Calibração	Saturação
Não-linearidade	Formato da Saída
Resolução	Impedância de Saída
Excitação	Características Dinâmicas
Confiabilidade	Fatores Ambientais
Incerteza	Tempo de Vida
Características de Sobrecarga	Custo, Tamanho e Peso
Tempo de Resposta	Sensibilidade
Estabilidade	

Algumas destas características são fundamentais na análise de transdutores em qualquer projeto, pois limitam as atividades destes, debilitando a leitura e, por consequência, sua funcionalidade.

Em outra abordagem, nota-se que a escolha do instrumento adequado faz-se necessária, pois junto aos transdutores, existem os erros intrínsecos. Tais erros são muitas vezes aceitáveis, todavia deve-se prestar atenção nos efeitos que podem causar ao sistema como um todo. Alguns destes são citados a seguir: [5]

- Acúmulo de erros aceitáveis de cada elemento
- Mau funcionamento de um elemento
- Efeito do transdutor no sistema
- Sensibilidade múltipla do transdutor

Entende-se por acúmulo de erros, a soma dos erros de cada elemento que fazem parte do conjunto de instrumentação, isto é, mesmo que estes erros tenham valores inicialmente aceitáveis, deve-se verificar esta soma para se concluir a respeito do erro total do sistema.

O efeito do transdutor no sistema pode ser observado se este, por peso ou tamanho, interfere no sistema.

Atribui-se sensibilidade múltipla à resposta em função das propriedades do sistema, ou seja, um transdutor fabricado para mensurar certa característica sofre influência de outras. Tal influência pode gerar erros indesejáveis, como *offset* ou mudança na sensibilidade.

2.1.3. Tipos de Sensores

Existem inúmeros tipos de sensores preparados para inúmeras finalidades. Estes sensores podem ser fabricados com diversos materiais podendo sofrer ação de tantos outros princípios físicos. A tabela 2.2 cita alguns sensores que podem ser aplicados às finalidades listadas.

Tabela 2.2 – Tipos de sensores [4]

Tipos de Sensores	
Aceleração	Acelerômetro capacitivo Acelerômetro piezoelétrico Acelerômetro térmico
Acústicos	Microfone resistivo Microfone piezoelétrico Microfone de eletreto
Deslocamento ou posição	Potenciômetro Capacitivo LVDT e RVDT Ultrasônico
Eletricidade	Medidor de energia
Fluxo	Ultrasônico Eletromagnético Arrasto
Luz	Fotodiodo Fototransistor CCD Infravermelho (FIR)
Movimento e Presença	Ultrasônico Detector de movimento por microondas Detector de presença capacitivo Detector de movimento optoeletrônico
Pressão, Deformação e Tato	Piezoresistivo Capacitivo Relutância variável (VRP) Diafragma <i>Strain gage</i> Fibra ótica Sensor de tato
Químicos	ChemFET Condutômetro Composição gasosa Eletroquímico Detectores de massa Detectores de enzimas
Velocidade	Giroscópio Tacogerador

Nesta tabela são dados exemplos mais comuns de sensores, que possuem ampla utilização no mercado. Como exemplos, podemos citar o *CCD* presente em câmeras fotográficas, os detectores de composição gasosa que podem ser usados em bafômetros e *strain gages* que podem ser usados na construção civil para monitorar as forças e deformações atuantes sobre estruturas de concreto.

2.1.4. Sistemas de Interface

Muitas vezes necessários, devido às condições de saída dos sensores, estes são os sistemas responsáveis por criar um ambiente de compatibilidade entre o sensor e o circuito seguinte (carga). Portanto, para que funcionem corretamente, estes dispositivos devem ser fiéis aos dois componentes: o sensor e a carga.

Como foi dito anteriormente, amplificadores e condicionadores de sinal são, eventualmente, necessários. Em foco, amplificadores operacionais e pontes de Wheatstone são amplamente utilizados para esta interface. Devido a sua alta impedância de entrada, amplificadores operacionais são usados como isoladores, ou, em outra denominação, seguidores de tensão, impedindo que haja carregamento de um circuito em outro. Além disso, outras propriedades destes amplificadores podem ser bastante úteis. Em sistemas analógicos, suas propriedades de realimentação permitem até alterações no sinal de entrada para uma finalidade específica, como, por exemplo, um integrador. Esta facilidade torna este dispositivo bastante competitivo.

Amplificadores de instrumentação são configurados por um conjunto de amplificadores operacionais e resistores, e tem como principal característica a amplificação diferencial com ganho controlado, ou seja, uma diferença de potencial, normalmente, oriunda de um sensor é amplificada. Por amplificar uma diferença de potencial, ou seja, dois potenciais, o ruído presente em ambos, geralmente equivalente, não é amplificado, então, não é propagado. Assim, após amplificação, qualquer ruído aplicado ao sinal torna-se menos degradante.

Já as pontes de Wheatstone são amplamente usadas, pois convertem uma variação de impedância em sinais de tensão. Formada por uma ponte de quatro impedâncias que se balanceiam produzindo uma tensão nula entre os nós. Quando uma dessas impedâncias é alterada, por uma variação causada por um estímulo em um sensor, a tensão resultante se alterará e será não-nula, sendo relativa à variação desta impedância. Portanto, um sensor desequilibra a ponte, gerando uma tensão, geralmente pequena. Por isso, usa-se um amplificador de instrumentação para aumentar sua sensibilidade.

Neste contexto, alguns cuidados devem ser tomados para que se evitem eventuais problemas ao se planejar um sistema de medição. Analisando as condições

acima, nota-se que a escolha do dispositivo em função de suas características, a utilização das devidas ferramentas e técnicas, a contabilização dos erros acumulados e o ambiente em que este será instalado são alguns dos requisitos básicos para que um sistema funcione adequadamente.

2.2. Meios de Comunicação

Esta seção visa a fundamentação dos meios de comunicação no que diz respeito ao material em que a onda eletromagnética se propaga. Na seção 2.2.1 abordam-se as características de uma transmissão sem fio. Na seção 2.2.2, as características das transmissões por cabo.

2.2.1. Comunicação Sem Fio

Nesta seção será introduzido o conceito sobre dois tipos de transmissão que usam o ar como meio de comunicação. Transmissões por rádio-frequência têm um maior conjunto de aplicações. Já a radiação infravermelha, apenas a comunicação entre dois pontos com distância relativamente curta e sem obstáculos. Para uma melhor abordagem desse assunto, na seção 2.2.1.1 será feita uma observação sobre o espectro eletromagnético.

2.2.1.1. Espectro Eletromagnético

Na metade do século XIX o estudo sobre propagação de ondas em um meio elástico (éter) era um campo de pesquisa bem desenvolvido, e o fato de a luz apresentar um comportamento ondulatório já era aceito pelos físicos da época. James Clerk Maxwell (1831-1879) percebeu que através dos modelos matemáticos e constantes conhecidas na época era possível relacionar a ótica ao eletromagnetismo, determinando, assim, as propriedades do éter eletromagnético [6]. Todavia, apenas um tempo depois da sua morte sua tese foi comprovada experimentalmente. Heinrich Hertz (1857-1894) confirmou que as ondas eletromagnéticas possuem as mesmas características da luz. Este trabalho propiciou o estudo das irradiações e o avanço tecnológico posterior.

A relação fundamental dada pela equação 2.1 representa o comprimento de onda, dado pela distância entre duas cristas consecutivas, em função de sua frequência, que leva o nome de Hertz, e a velocidade da luz no vácuo, 3×10^8 m/s.

$$\nu = \lambda f \quad (2.1)$$

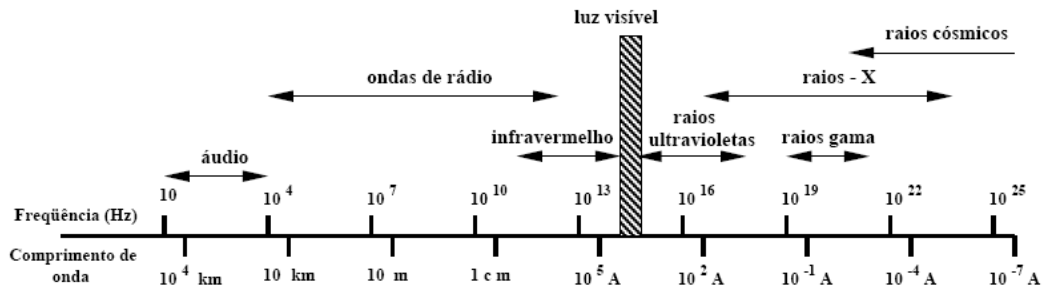


Figura 2.2 – Espectro eletromagnético [8]

As ondas de frequências superiores, como ultravioleta, poderiam ser bons propagadores de informação, mas são difíceis de produzir, modular, além de serem nocivas aos seres vivos.

Além disso, este espectro é restringido por órgãos regulatórios nos governos, com intuito de distribuir as faixas de frequência entre os diversos segmentos que necessitem dela. No Brasil, esta função é delegada a ANATEL [7]. Agências de diferentes países não necessariamente dividem o espectro de forma equivalente. Por essa razão, alguns dispositivos, fabricados para outra região, podem não funcionar adequadamente em outra.

2.2.1.2. Rádio-Frequência

As ondas de RF são o principal meio de transporte da informação em um canal de comunicação sem fio e para que haja o enlace de frequência, ou seja, a comunicação entre dois ou mais equipamentos, é necessário o uso dos equipamentos adequados.

A antena é a interface entre o sistema elétrico e o espaço. Ela também possui suas características, as quais devem ser consideradas durante o projeto. O ganho, a polarização e o tipo de irradiação são características que determinam se a transferência de um sinal será bem feita. Os sinais de rádio podem ser polarizados horizontalmente ou verticalmente. Para que seja possível a recepção deste sinal, deve-se conhecer previamente a localização do receptor, pois este deve estar alinhado. Há, ainda, a polarização circular, que permite que a antena esteja em qualquer direção normal à direção de propagação da onda, garantindo que não haja perda na recepção. A relação entre comprimento de onda e as dimensões da antena podem determinar o ganho da mesma. O ganho garante a intensidade do sinal transmitido, sendo expresso em uma medida relativa, dB, ou uma medida absoluta, dBm. Com relação às irradiações, podem ser direcionais, omnidirecionais e

isotrópicas, cujas irradiações ocorrem em 1, 2, e todas as direções do espaço, respectivamente. [8]

Esta propagação, no entanto, dá-se de diversas formas. Suponha que o receptor esteja em uma posição que considerando a posição do transmissor, aquele esteja abaixo da linha do horizonte. Imediatamente, imagina-se que sejam necessários satélites ou retransmissores, entretanto, propriedades como refração, reflexão e dispersão da onda na atmosfera (ionosfera e troposfera) fazem com que esta se propague em locais que não estejam em visada direta com o transmissor [9].

No caso de uma transmissão em visada direta, ou seja, acima da linha do horizonte, a equação 2.2 demonstra uma fórmula para o cálculo da atenuação de um sinal não afetado por variáveis ambientais.

$$A = 32,5 + 20 \log f + 20 \log D \quad (2.2)[9]$$

Em que:

A = atenuação do sinal transmitido

f = frequência de operação do sistema em MHz

D = Distância em km

No espectro eletromagnético, as ondas de rádio (vide figura 2.2) ainda podem ser classificadas em categorias que definem algumas propriedades importantes para um sistema de comunicação sem fio. As frequências, então, são classificadas em HF, VHF, UHF, SHF e EHF, sendo que as duas últimas são denominadas de microondas. Cada faixa de frequências possui propriedades peculiares que afetam diretamente em suas aplicações. Um exemplo das diferenças intrínsecas às faixas pode ser facilmente observado na equação 2.2, para uma mesma distância, a atenuação do sinal é maior quanto submetido a um aumento de frequência.

Nesse contexto, os transmissores HF, frequências entre 1 e 30MHz, possuem dois tipos de modos de propagação. A propagação da onda eletromagnética pelo ar possui menor imunidade a ruído e são mais dependentes das condições climáticas e da hora do dia, pois dependem da reflexão na ionosfera (camada da atmosfera localizada a aproximadamente 110 km da superfície terrestre), não sendo muito confiáveis. Outro tipo de propagação desta faixa de frequência é através da superfície terrestre. Quanto maior a condutividade da superfície, maior a distância de propagação da onda. Assim, pode-se dizer que o oceano é o melhor condutor deste tipo de propagação e, por essa razão, esta faixa de frequências é mais usada na comunicação entre submarinos. As distâncias observadas neste tipo de propagação atingem centenas de quilômetros. Os transmissores mais comerciais são encontrados

com frequências entre 1,8 e 3,5MHz. Por ser muito ruidoso, taxas de transmissão baixas entre 300 a 600 *bauds* são atingidas.

A faixa de frequências denominada de VHF corresponde à frequências de aproximadamente 30MHz a 225MHz, e podem ser classificadas em três sub-faixas.

A faixa de frequência inferior de VHF corresponde à transmissões feitas em frequências entre 30 e 59MHz. Igualmente à faixa HF, esta faixa não é muito comum em aplicações de telemetria, pois ainda é muito susceptível a ruídos não-naturais, como o causado por motores, os quais limitam as taxas de transferência de dados e aumentam a intensidade do sinal mínimo a ser recebido. Porém, existem vantagens em comparado com as frequências maiores. Quanto menor a frequência VHF, maior a capacidade da onda de atravessar regiões com muitos obstáculos. Por essa razão, esta frequência pode ser usada em regiões de florestas bem densas, por exemplo. Em florestas densas, as condições ambientais, como umidade, têm grande influência em frequências superiores. A decisão de usar frequências da banda inferior de VHF em sistemas de telemetria deve levar em consideração, portanto, as condições ambientais, a disponibilidade de equipamentos, a taxa de transferência necessária e os níveis de ruído aceitáveis na recepção.

A faixa de frequência média de VHF corresponde à transmissões feitas em frequências entre 60 e 100MHz. Esta faixa é mais usada em telemetria do que as frequências menores, pois são menos susceptíveis ao ruído não-natural, e, por isso, permitem maiores taxas de transferência. Além disso, ainda possuem capacidade de atravessar regiões moderadamente densas. Por causa destas características e de sua capacidade boa de difração, estes equipamentos podem ser usados em unidades remotas que cobrem largas distâncias em terrenos montanhosos e que respondam a uma estação base só. O uso de propriedades de difração deve ser bem cuidadoso.

A faixa de frequência superior de VHF corresponde à transmissões feitas em frequências entre 100 e 225MHz. Esta faixa é geralmente preferida em aplicações de telemetria, pois são menos susceptíveis ao ruído não-natural do que as anteriores, portanto, mais confiáveis quando submetidas a taxas de transferência maiores. Além disso, embora menos dominantes que as anteriores, esta faixa ainda consegue atravessar regiões com obstáculos e possui boa capacidade de difração. Portanto, pode-se dizer que as frequências superiores de VHF não sofrem de grandes problemas de atenuação, embora ocorram.

As frequências UHF correspondem à faixa entre 335MHz e 3GHz e são divididas em sub-faixas. As frequências inferiores de UHF correspondem às frequências entre 335 e 520MHz. Esta faixa é uma das mais comuns em aplicações de telemetria, pois é menos susceptível ao ruído do que as demais, possibilitando maiores taxas de

transferência que as outras, melhorando a qualidade do canal de comunicação entre os equipamentos. Possui mínima capacidade de atravessar obstáculos e dependendo das características da superfície que a onda atinge, parte da energia pode ser absorvida ou refletida. Este fenômeno altera as transmissões em duas formas criando múltiplos caminhos de transmissão. Desta forma, se o ambiente possui bastante obstáculos, as reflexões causadas por ele, as quais geram múltiplos caminhos, podem fazer com que os equipamentos, mesmo que não estejam em visada direta, consigam estabelecer um canal de comunicação. Em contrapartida, se o ambiente é aberto, a reflexão em uma pedra ou outro objeto pode causar cancelamento do sinal devido a mudança de fase na reflexão. Portanto, o fenômeno de múltiplos caminhos deve ser levado em consideração quando se planeja um sistema de telemetria.

As frequências médias de UHF correspondem às frequências de 520 a 960MHz. Possui, basicamente, todas as características das frequências inferiores de UHF, com agravação na atenuação no espaço livre (vide equação 2.2), menor característica de penetração e difração e maior susceptibilidade ao cancelamento por reflexão, porém conseguem carregar mais informação.

As tabelas a seguir, 2.3 e 2.4, resumizam as características principais de cada faixa de frequências com suas possíveis aplicações.

Tabela 2.3 – Resumo das características por faixa de frequências (I) [9]

Resumo das características por faixa do espectro de frequências			
	HF	Inferior VHF	Média VHF
Modo de propagação	Mais superfície terrestre	Mais visada direta; alguma superfície terrestre	Visada direta; mínima superfície terrestre
Taxa de transferência	300 a 600 <i>baud</i>	1200 <i>baud</i>	2400 <i>baud</i>
Difração	Excelente	Excelente	Muito boa
Susceptibilidade ao ruído natural	Alta	Alta	Média
Susceptibilidade ao ruído não-natural	Alta	Alta	Média
Capacidade de atravessar obstáculos	Excelente	Excelente	Muito boa
Absorção por clima molhado	Baixa	Nenhuma	Razoável
Reflexão e absorção por sólidos	Baixa	Baixa	Baixa
Custo relativo do equipamento	Alto	Alto	Médio
Aplicações	Comunicação Aquática	Áreas florestais densas Áreas muito montanhosas	Áreas montanhosas, florestais e sobre a água

Tabela 2.4 – Resumo das características por faixa de frequências (II) [9]

Resumo das características por faixa do espectro de frequências			
	Superior VHF	Inferior UHF	Média UHF
Modo de propagação	Visada direta	Visada direta	Visada direta
Taxa de transferência	4800 <i>baud</i>	9600 <i>baud</i>	19200 <i>baud</i>
Difração	Boa	Alguma	Minima
Susceptibilidade ao ruído natural	Baixa	Baixa	Muito baixa
Susceptibilidade ao ruído não-natural	Baixa	Baixa	Muito baixa
Capacidade de atravessar obstáculos	Boa	Baixa	Muito baixa
Absorção por clima molhado	Alta	Alta	Alta
Reflexão e absorção por sólidos	Razoável	Alta	Excelente
Custo relativo do equipamento	Baixo	Baixo	Médio
Aplicações	Longa distância para campos abertos e montanhas	Telemetria e comunicações móveis	Telemetria e comunicações móveis

2.2.1.3. Radiação Infravermelha

Denomina-se radiação infravermelha à porção do espectro eletromagnético correspondente às frequências imediatamente inferiores às frequências de luz visível, mais especificamente o vermelho, e imediatamente superiores às frequências de rádio, neste caso, as microondas. A figura 2.2 representa esta porção do espectro.

Este espectro pode ser subdividido em 4 faixas: infravermelho longo, ou distante, com comprimentos de onda entre 8 e 14 μm ; infravermelho médio, entre 3 e 5 μm ; o infravermelho próximo, entre 0,7 e 3 μm ; e o infravermelho extremo, que varia entre 15 e 1000 μm , já sendo confundida com frequências de microondas. As duas primeiras faixas têm como destaque o uso militar, pois possuem menor absorção atmosférica, sendo, portanto, denominadas 'janelas atmosféricas'. As radiações termais situam-se basicamente nesta faixa (*FIR - Far Infrared*), mostrando mais um motivo para o interesse militar nesta faixa.

O padrão IrDA subdivide-se em 2 tipos: IrDA Data, o qual é definido por dispositivos que interagem para a troca de dados e sua velocidade de transferência de dados varia de acordo com o modelo; e o IrDA Control, que tem o propósito de transmitir pacotes de controle entre os dispositivos. [10]

Devido às suas características, como frequência elevadíssima, esta porção do espectro necessita de visada direta entre os transceptores, pois a capacidade da onda eletromagnética de difratar é quase nula. Além disso, a distância entre ambos não pode ser elevada, pois como foi dito, nesta frequência a atenuação do sinal original no espaço livre é relevante.

O controle do videogame Nintendo Wii® pode ser considerado como uma aplicação desta tecnologia. No caso, os dados transmitidos são oriundos de um acelerômetro de três eixos e dos botões de controle. Estes dados são modulados e enviados por infravermelho para uma barra receptora conectada ao console, que os detecta e faz a triangulação para definir a posição do controle remoto. Com estes dados disponíveis o CPU realiza os cálculos necessários e retorna com uma imagem na tela. Note que o sistema se assemelha ao genérico apresentado na figura 1.3.

2.2.2. Comunicação Via Cabo

Outros meios de propagação de ondas eletromagnéticas podem ser os cabos e fibras óticas. Assim como em comunicações sem fio, alguns requisitos devem ser observados em seu projeto, como a qualidade do elemento e os custos de infraestrutura, por exemplo. Ainda, requisitos como frequência de transmissão e níveis de ruído são implícitos na fundamentação do projeto. Para tais requisitos existe sempre algum elemento que atenda as necessidades. [11]

- Cabo coaxial
- Par trançado
- Fibra ótica

Formado por dois condutores, um interno e uma malha externa, o cabo coaxial, geralmente, é usado em transmissões com frequências inferiores à 2GHz, em que, a partir desta, guias de onda são mais amplamente usados. A impedância de um cabo coaxial é determinada pelo diâmetro deste condutor central e pela distância entre este condutor e a malha externa. Tais características são equivalentes aos modelos de linhas de transmissão, em que há uma capacitância formada entre as linhas e a resistência formada ao longo da linha, portanto, formando um filtro passa-baixa com frequência de corte variável em função do comprimento do cabo. Estas características, que definem a espessura do cabo, são definidas por duas condições: a potência de transmissão e a frequência com que este cabo será usado [9]. Estes dois itens são importantes em transmissões usando cabos coaxiais, pois se o cabo estiver mal dimensionado a atenuação do sinal se dá em função destes dois fatores. Quando a frequência do sinal é elevada, os elétrons tendem a se movimentar pela superfície do condutor. Esse fenômeno diminui a área de seção do condutor, o quê pela segunda

Lei de Ohm, aumenta a resistência do condutor. Assim, além da existência desta capacitância parasita, o aumento da resistência pode ser observado em altas frequências. Além disso, a resistência intrínseca ao condutor dissipa parte da potência transmitida. Por isso, este condutor pode ser usado em transmissões que não possuam distâncias muito longas. Além, por suas características capacitivas, frequências muito altas não são recomendáveis. Os fabricantes costumam publicar informações a respeito dos cabos que eles produzem.

O par trançado é um cabo em que os condutores formam pares, de acordo com suas funções, que se enrolam entre si, em espiral. Tal enrolamento existe para que haja o cancelamento de interferências eletromagnéticas de fontes externas ou até mesmo interferências mútuas entre cabos adjacentes. Foi originalmente concebida para transmissões da rede telefônica [12]. Estes cabos podem ter ou não ter blindagem, e podem alcançar taxas altas de transmissão dependendo da qualidade de cabo empregado, da bitola dos condutores e da proteção existente contra ruídos. Além disso, possui a vantagem de propiciar um baixo custo por comprimento. Usados geralmente em redes de computadores e aplicações telefônicas, devido as suas características, esse cabo pode ser amplamente usado.

Fibra ótica é uma estrutura, geralmente de fibra de vidro, que transmite sinais através da intensidade da luz e caracteriza-se por ter dimensões muito pequenas, equivalentes a um fio de cabelo humano, e largura de banda alta. Os materiais que compõem o núcleo e a casca possuem índices de refração diferentes e são responsáveis pela propagação da onda. Assim, um feixe de luz em uma fibra ótica incide refrata entre os materiais e reflete totalmente na casca, fazendo com que a onda propague mais um trecho e repita o processo sucessivas vezes. A luz é produzida por fotoemissores, LED's ou por LD's, os quais convertem sinais elétricos em intensidades luminosas. Como o diâmetro da fibra é pequeno, para que haja propagação correta, o ângulo da luz incidente possui um limite, fazendo com que estes fotoemissores tenham que ser cuidadosamente posicionados na ponta da fibra.

Nesse contexto, existem dois tipos de operação em uma fibra ótica. A fibra monomodo possui núcleo com diâmetro pequeno e, geralmente, transmitem luz laser infravermelha. Além disso, possui uma atenuação a longas distancias menor que a fibra multimodo e garantem maior banda passante, pois há menos dispersão modal. Dispersão modal é a capacidade de a luz percorrer a fibra em velocidades diferentes. As fibras monomodo possuem manutenção mais cara e são mais usadas em redes telefônicas e sistemas que necessitem de grandes distâncias. Já as fibras multimodo são mais fáceis de emendar, possuem manutenção mais barata e são mais aplicadas em aplicações de curta distância com bastante conexões. Entre as vantagens de se

usar de uma rede de fibra ótica estão a taxa de transmissão elevadíssima e a imunidade à interferência eletromagnética e eletrostática. Todavia, custos de infraestrutura são muito elevados. Aplicações deste tipo de meio são menos freqüentes, mas uma rede de fibras óticas é objeto presente em *headends* de redes HFC e participam indiretamente da telemetria de sistemas via TV a cabo, como exemplo. [12]

2.3. Modos de Comunicação

Esta seção visa a fundamentação teórica com relação aos modos de comunicação, no que diz respeito às modulações, representada pelo item 2.3.1, e aos protocolos de comunicação, representada pelo item 2.3.2. Basicamente, os modos de comunicação determinam como o sinal é transmitido, alterando suas propriedades elétricas. Fase, amplitude e freqüência são, então, moduladas. Quando se converte um sinal para o ambiente digital, há a possibilidade de ‘embaralhar’ a seqüência de bits para estabelecer uma regra de transmissão. Deste modo, é possível transmitir um mesmo sinal modulante de diversas formas, garantindo que uma delas seja a mais conveniente.

2.3.1. Modulações

A tecnologia é um aspecto que evolui constantemente. Se comparado períodos de tempo semelhantes e consecutivos, a diferença entre os dispositivos é muito grande. Por conseqüência, o aumento na demanda de infra-estrutura aliado a rápida ascensão destes dispositivos, propiciou a evolução das mais diversas formas de comunicação. Conseqüentemente, este fator atingiu diretamente sistemas de telemetria.

A evolução das técnicas de modulação em telemetria tem início com as modulações em AM (*Amplitude Modulation*) e FM (*Frequency Modulation*). Em ambos os casos, o sinal de uma portadora de freqüência mais alta é modulado em função da informação a ser transmitida. As duas transmissões são feitas analogicamente, sendo bastante susceptíveis ao ruído. Ainda no âmbito analógico, a evolução destas técnicas originou a modulação em pulso, e assim, PAM (*Pulse Amplitude Modulation*), PDM (*Pulse Density Modulation*) e PWM (*Pulse Width Modulation*). Desta maneira, técnicas de multiplexação puderam ser aplicadas. Sem a necessidade de continuidade do sinal na transmissão, um único canal poderia ser usado para transmissão de vários ao mesmo tempo. Percebeu-se, então, que se a informação fosse transmitida de forma digital, seria menos afetada por ruído, pois na recepção há decisão de qual símbolo foi recebido, eliminando o prejuízo com ruídos na informação. Para tal, o sinal modulante

deve ser amostrado e quantizado, atribuindo uma seqüência de bits para cada valor de amostra. Assim, o PCM usado em redes telefônicas e outras técnicas de modulação usadas em diferentes tipos de comunicação, como o BPSK (*Binary Phase-Shift Keying*) usado em comunicações que usam a seqüência direta do espalhamento espectral, o QPSK (*Quadrature Phase-Shift Keying*) usado na modulação de redes de computadores. Porém, assim como ocorreu com a modulação analógica, técnicas de acesso múltiplo surgiram para um melhor aproveitamento da banda. Essas técnicas são amplamente difundidas na atual configuração. O *spread spectrum* é uma destas técnicas sendo conhecido como precursor do CDMA (*Code Division Multiple Access*) usado em transmissões de telefonia celular. Outras técnicas de acesso múltiplo, como o TDMA (*Time Division Multiple Access*) e o FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) servem de base para novas promessas de taxas de transferência de dados elevadas. Protocolos de transferência de dados GPRS, 1xRTT e redes 3G são exemplos. Algum dia, sistemas de telemetria não serão limitados pelo canal de comunicação e poderão trocar informações de forma rápida e segura, permitindo ao usuário o monitoramento de diversas variáveis ao mesmo tempo. A tabela 2.5 apresenta uma coletânea de informações a respeito de algumas modulações que podem ser consideradas o futuro da telemetria.

Na seção 2.3.1.1 será introduzido o conceito de *spread spectrum*, pois pode ser usado em transmissões de sistemas ponto a ponto, além de servir de base para o CDMA, apresentado no caso de telemedição, no capítulo 7.

Tabela 2.5 – Exemplo de técnicas de transmissão [9]

Exemplo de técnicas de transmissão					
Tecnologia	Lançamento	Banda de frequências	Técnica de acesso múltiplo	Modulação	Taxa de transferência
GSM	1992	876-960MHz	TDMA	GMSK	14,4 kbps
GPRS	2001	1850-1990MHz	TDMA	GMSK	21,4 kbps
1xRTT	2001	1920-2170MHz	CDMA	QPSK	307,2 kbps
WCDMA (TDD)	2003	1850-2025MHz	TDMA/CDMA	QPSK	384 kbps
Bluetooth	2000	2400-2483MHz	TDMA	GFSK	1 Mbps
802.11a (<i>Wireless Local Area Network</i>)	2002	5150-5825MHz	CSMA-CA	BPSK/QPSK	54 Mbps

2.3.1.1 Espalhamento Espectral (*Spread Spectrum*)

O conceito do *spread spectrum* é bastante simples. Quando não se utiliza SS, a densidade de potência no espectro fica alocada na portadora. No SS, a proposta é espalhar esta densidade em uma banda maior de frequência para que o sinal 'se confunda' com um sinal de ruído. Quanto maior a banda deste sinal em relação à frequência do sinal modulante, maior aparência de ruído terá o sinal modulado (*noise-like*).[13]

Para que tal condição seja possível, deve existir um modo de compatibilidade entre o transmissor e o receptor. A forma encontrada para gerar esta compatibilidade foi a criação de um código pseudo-aleatório (*PN-code*) que assume valores pré-determinados em diferentes ordens, de acordo com o modo de funcionamento do sistema. Este padrão o classifica basicamente em três operações:

- Sequência Direta (*Direct Sequence - DSSS*)
- Salto de Frequência (*Frequency Hopping - FHSS*)
- Sistema Híbrido

Esta técnica torna-se bastante interessante no escopo deste trabalho, pois a transmissão de telefonia celular apresentada no caso da telemedicação, no capítulo 7, é CDMA, ou seja, *spread spectrum*.

2.3.2. Protocolo de Comunicação

Protocolo de comunicação é um conjunto de regras estabelecido para um sistema, ou por uma entidade, para que a comunicação entre dispositivos que não tenham a mesma empresa como fabricante exista em uma transferência de dados.

Geralmente, este processo pode ser entendido como a aplicação de uma série de camadas ao sinal que deve ser transmitido. Estas camadas são divididas de acordo com a finalidade da aplicação e podem ser expressa em dois subconjuntos: camadas de rede e camadas de sistema; definindo como o sinal será transmitido desde a modulação em hardware, até o tratamento de *software*. Com isso, inevitavelmente, há um acréscimo de informação a ser transmitida, estabelecendo, assim, uma sentença.

O Modelo OSI é um exemplo de protocolo de comunicação em camadas. Este protocolo foi desenvolvido pelo ITU e a ISO e possui sete camadas, nas quais três são de rede e quatro de sistema. [12]

- Camada física é a camada que implementa funções de transmissão entre os pontos. Responsável também pela sincronização da informação. Como exemplos podem-se citar os modems, DSL, RS-232 e Bluetooth.

- Camada de enlace estabelece o link de dados. Responsável pela transmissão e recepção dos quadros e pelo controle do fluxo e acesso. Como exemplos podem-se citar Ethernet, PPP e FDDI.
- Camada de rede determina o endereço de destino e o caminho do pacote de informações. Como exemplos podem-se citar o IP, ARP e IPsec.
- Camada de transporte é responsável pela ordenação dos pacotes de dados recebidos da camada de rede, ou segmentação dos mesmos recebidos da camada de sessão. Além disso, inclui confirmação de recebimento. Como exemplos podem-se citar TCP e UDP.
- Camada de sessão permite que duas aplicações em diferentes sistemas possam se comunicar sem falhas, portanto, gerenciar a conexão.
- Camada de apresentação converte os dados em um formato compatível com as camadas adjacentes. Como exemplos, MPEG e ASCII.
- Camada de aplicação faz a interface entre o protocolo de comunicação e o aplicativo que solicitou a informação da rede. Como exemplos podem-se citar o HTTP, SMTP, FTP e Telnet.

Além de ser usado em redes de computadores, este modelo é genérico, pois suas camadas se complementam garantindo o sucesso na transmissão de qualquer dado entre dispositivos. A figura 2.3 ilustra o modelo OSI.

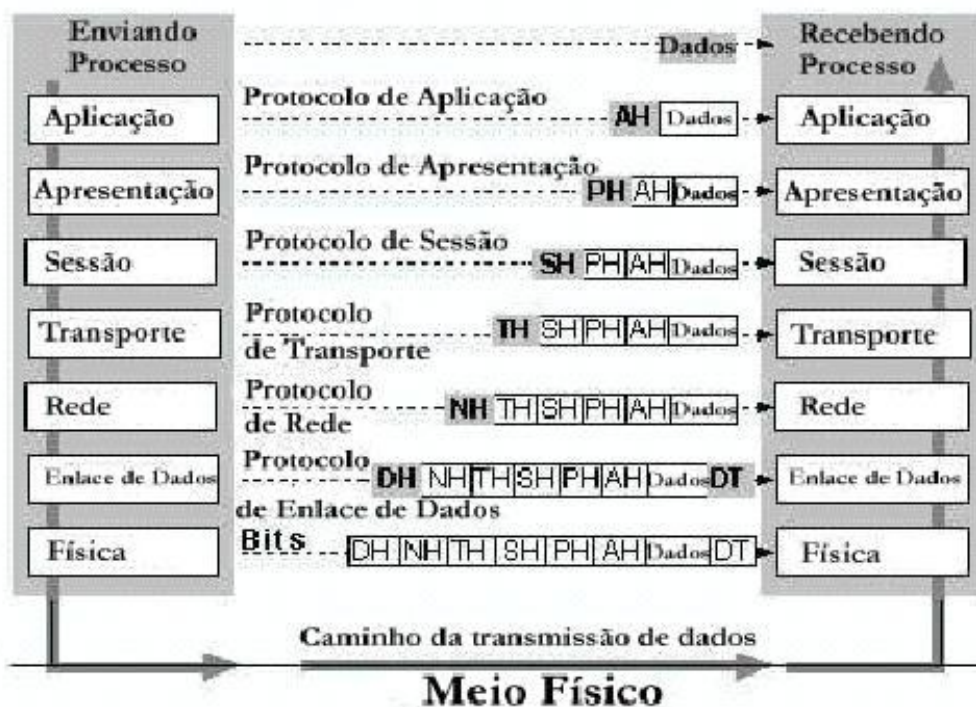


Figura 2.3 – Representação das camadas do modelo OSI [12]

Em aplicações mais simples, as quais são normalmente ponto a ponto, a aplicação de protocolos sofisticados não se faz necessária. Para tais aplicações, protocolos mais simples como RS-232 ou RS-485 podem ser usados.

O protocolo RS-232 é caracterizado por ser um protocolo serial de fácil aplicação e ser compatível com a maioria dos equipamentos existentes no mercado. Além disso, caracteriza-se pela utilização de dois condutores, um de referência do equipamento e outro no qual o sinal é aplicado. Foi concebido para comunicação bidirecional entre dois dispositivos. Por essa razão, é inviável em aplicações que necessitem de comunicação entre mais de dois pontos. As distâncias máximas de transmissão podem chegar a 300 metros [14] respeitando as características construtivas do cabo, como explicitado na seção 2.2.2. Ainda, por ser um protocolo de fácil aplicação e que atende taxas de transmissão adequadas, geralmente, é usado na comunicação entre os equipamentos que compõem um sistema de telemetria e dependendo do sistema, pode ser o protocolo na sentença.

O protocolo RS-485 é um protocolo de comunicação serial que é conectado a mais de um ponto. Para tal, a topologia de rede do tipo anel ou barramento é usada. Apesar disso, apenas um dos nós é capaz de se comunicar com todos os outros, configurando uma hierarquia mestre-escravo. Além disso, o fato de se usar a topologia de rede mencionada diminui custos de instalação. Por essas características, os nós podem ser mais bem distribuídos no sistema aproximando-os de sensores, por exemplo [14].

A partir da utilização destes protocolos de comunicação, pode-se desenvolver uma sentença. Nesta sentença há ordenação de uma seqüência de bits atribuindo a cada conjunto um significado. Neste processo, os dados são empacotados e transmitidos. Um critério de correção de erros também pode ser incorporado a sentença. Este critério, geralmente, é denominado de *checksum*, que, literalmente, é a soma de todos os dados transmitidos. Essa soma é enviada pelo transmissor e comparada com a soma dos dados recebidos, no receptor.

Nesse contexto, o estabelecimento de uma sentença pode ser feito através de um microcontrolador. Por *software* pode-se definir as constantes de temporização e sincronismo da transmissão, os comandos de gerenciamento de erros, e a ordenação da seqüência de bits em seus significados.

O protocolo NMEA 0183 é um exemplo de sentença de posicionamento global completo, em que retorna ao usuário valores de horário, posição nos três eixos, entre outros. Por isso, é usada, geralmente, em instrumentos de navegação ou que necessitem de sincronismo temporal. A comunicação entre este dispositivo e os demais, geralmente, é feito por RS-232 e transmitem códigos ASCII.

3. Metodologia de Projeto

Este capítulo visa a introdução de uma metodologia para que se tenha um bom projeto de telemetria. Com base no capítulo anterior, serão pontuados alguns aspectos que são fundamentais na execução de um projeto para cada subsistema. Portanto, este capítulo será abordado em função destes subsistemas.

Sempre que se deseja planejar um sistema de telemetria torna-se necessário prestar atenção em alguns requisitos básicos essenciais para o bom funcionamento do sistema. (Tabela 3.1)

Tabela 3.1 – Requisitos de um sistema de telemetria [15]

Requisitos de um sistema de telemetria
Estabelecer a Inteligência requerida
Determinar as informações necessárias
Pesquisar geografia local/infra-estrutura
Estabelecer as regras de comunicação
Selecionar os equipamentos necessários para atender estes requisitos
Especificar os equipamentos para o correto uso no sistema
Determinar como se dará a interface com o usuário
Estabelecer local de instalação

Os requisitos citados são imprescindíveis e podem ser mais sofisticados dependendo do grau de complexidade do sistema em questão. Esta complexidade pode ser avaliada de acordo com a função a ser realizada, o número de dispositivos e a inteligência requerida, ou seja, a telemetria pode ser um meio de apenas observar as condições de um objeto remoto, como também ser um dispositivo capaz de realizar alterações neste mesmo ponto.

3.1. Instrumentação

Como já foi dito, o subsistema de instrumentação é o responsável pela geração dos dados essenciais ao operador, logo, é o sistema cuja finalidade é atribuir valores em grandeza elétrica a uma grandeza mensurável de outra natureza.

Para que este sistema execute sua função adequadamente, seguem algumas explicações e considerações:

Entender quais são as necessidades do operador é fundamental na análise do problema. Partindo desse pressuposto, elegem-se quais características deste sistema são mensuráveis e necessárias para que este operador tenha sua visão completa em tempo real. Algumas destas características podem ser adquiridas de formas indiretas, isto é, a partir de outra através de leis de proporcionalidade, gráficos ou mesmo através de cálculos teóricos. Ainda, deve dimensionar quais são os valores de tempo que este sistema deverá responder, atuando diretamente na telemetria, ou seja, se este deve gerar uma resposta instantânea cada vez que requisitado, ou apresentar um resumo do que foi medido quando requisitado, geralmente, de forma esporádica.

Em outra abordagem, um passo crucial é a elaboração de uma planta de alocação dos instrumentos, pois estes estão, geralmente, sujeitos a efeitos de outras grandezas que provocam erros de leitura, tais como vibrações, umidade e temperatura, entre outros. Portanto, um estudo dos locais de instalação para posterior criação do mapa de alocação conciliará para que os instrumentos tenham condições mínimas de trabalho e um melhor aproveitamento de seus atributos. Além disso, o conhecimento prévio de todas as propriedades deste sistema que podem se tornar uma fonte de erro de medição se faz necessário.

Embora a avaliação da alocação dos dispositivos e atributos do sistema como um todo tenha seu papel definido, a especificação correta de um instrumento é de suma importância na execução do projeto deste subsistema. Suas propriedades determinam qual a melhor opção a ser usada em cada caso.

Nesta seqüência lógica, pressupõe-se que o projetista já domina todas as propriedades do sistema em questão, podendo com facilidade enxergar quais são seus gargalos e habilitando-se a dimensionar o dispositivo que mais se aproxima do desejado. Deste modo, as características citadas na tabela 2.1 são essenciais na classificação deste instrumento. Seus valores e a importância de cada uma variam de acordo com a finalidade do projeto.

Uma possível seqüência de perguntas, as quais abordam diretamente estes atributos citados, é demonstrada a seguir:

1. Qual a precisão necessária para o dispositivo?
2. Qual a exatidão necessária para o dispositivo?
3. Quais são os valores de fundo de escala do dispositivo?
4. O dispositivo apresenta resposta adequada a qual o projeto necessita?
5. Existe ensaio comprobatório fornecido pelo fabricante?
6. Este dispositivo selecionado tem um custo satisfatório?

Desta maneira, é possível criar um critério de seleção do dispositivo baseado nas características fundamentais do sistema, garantindo uma medição confiável. Este

critério depende exclusivamente dos interesses do projetista, pois para cada projeto determinada propriedade do instrumento é mais necessária que outra. Pode-se dizer, inclusive, que embora, o instrumento ideal seja o mais barato entre os compatíveis, certas vezes alguns projetos podem arcar com um custo mais elevado em prol de uma melhoria em determinada propriedade.

Finalmente, após a determinação das variáveis importantes, do instrumento e do mapa de alocação destes, a determinação dos blocos adjacentes responsáveis pela interface destes com o restante do sistema é necessária. Além disso, devem ser calculados os valores de carga e a potência consumida pelo circuito, os efeitos de carregamento que vai causar ao resto do circuito, as influências causadas pela infraestrutura do sistema e verificar em quais dispositivos há necessidade de alimentação. Esta infra-estrutura também deve ser planejada de modo a não sofrer e/ou não causar nenhum efeito no sistema em geral, ou seja, a instalação deste não deve alterar o seu funcionamento.

Dependendo da resposta do dispositivo, como frequência, carga, tensão, corrente ou impedância, diferentes circuitos são usados para equalização deste sinal. Se o sinal de tensão ou corrente de saída do instrumento é baixo, amplificadores operacionais, diferenciais ou de instrumentação podem ser associados ao circuito. Assim, como foi dito na seção 2.1.4, em alguns casos elimina-se inclusive propagação de ruído. Se a resposta é em carga, amplificadores de carga são usados. Se a resposta for a variação de uma impedância, geralmente, são usados pontes, como a ponte de Wheatstone, em comunhão com um amplificador de instrumentação. A variação da impedância deste sensor desequilibra a ponte gerando uma diferença entre os potenciais na ponte. Este potencial é amplificado e tem-se a leitura do sensor.

No caso de múltiplos sensores, o uso de um multiplexador, como apresentado na figura 2.1, responsável pela amostragem do sinal contínuo oriundo dos dispositivos, garante que todos os sensores sejam lidos usando um único canal de comunicação.

No caso de transmissões digitais, um conversor A/D realiza a quantização dos sinais amostrados pelo multiplexador. O número de bits atribuído a estas amostras e o número de amostras por segundo definem a taxa de transferência mínima necessária para que todos os dispositivos possam ser lidos remotamente.

Após a determinação destas variáveis, a instalação e conexão dos componentes devem ser adequadas seguindo todas as especificações determinadas em fase de projeto.

Novamente, um exemplo de seqüência de perguntas para explicitar a afirmação anterior segue:

1. O dispositivo especificado necessita de alimentação?

2. O dispositivo necessita de algum modo de fixação especial?
3. O dispositivo necessita de um sistema de interface? Qual?
4. Como se dará a ligação dos cabos para leitura do dispositivo?
5. Este cabo precisa ser imune a ruídos/blindado?
6. A partir do ensaio do fabricante calculou-se a carga imposta ao circuito?
7. A instalação do conjunto foi efetuada como planejado?

Assim, especificam-se outros parâmetros coadjuvantes na funcionalidade do subsistema de instrumentação.

3.2. Módulo de Processamento

O módulo de processamento atua como um tradutor de protocolos, intermediando componentes do sistema. Basicamente, na hora de selecionar qual o melhor dispositivo para atuar como módulo de processamento deve-se saber de antemão quais são suas competências, ou seja, quais os protocolos que este terá que identificar/decodificar. Como em alguns dos casos a estrutura deste módulo é baseada em microcontrolador, ou seja, programável por *software*, é possível a programação dos protocolos. Portanto, após saber quais são os protocolos que este módulo deve identificar para resolver o problema de comunicação entre os dispositivos, faz-se um levantamento das opções encontradas no mercado.

Outro modo de se resolver problemas de comunicação entre os dispositivos é aplicando diretamente um microcontrolador. Em determinadas aplicações, a definição da sentença usada para a transmissão dos dados pode ser determinante na escolha de um microcontrolador. Neste caso, a programação do micro segue todas as exigências estabelecidas pelo usuário. Com a utilização de um microcontrolador, a infra-estrutura deve ser planejada. Dispositivos de fixação, como placa de circuito impresso, e de comunicação, como bornes, são necessários para a manutenção do bom funcionamento do equipamento. Além disso, a escolha do micro deve ser feita em função das exigências do sistema de telemetria.

3.3. Módulo de Transmissão

O módulo de transmissão é, sem dúvida, um dos subsistemas cruciais em telemetria, pois é responsável pela transmissão dos dados.

Um bom início para o planejamento deste sistema é saber de antemão se o sinal a ser transmitido é analógico ou digital, e assim determinar a quantidade de informação que será transmitida pelo canal de comunicação. Para ambos os casos, o

teorema de Nyquist define a frequência mínima de portadora, em relação à frequência do sinal a ser modulado, necessária para que não haja erros de modulação do sinal. No caso de sinais digitais, deve-se atentar à possibilidade de o sinal passar por um processo de quantização, portanto, a quantidade de bits necessária para uma boa resolução também deve ser contabilizada. Assim, a velocidade de transferência de informação e a frequência de operação mínima podem ser determinadas. A frequência de operação obtida foi dita mínima porque qualquer sinal que possua portadora de frequência maior é capaz de atingir a velocidade de transferência de dados necessária. Outro aspecto interessante na determinação da frequência de operação é sua disponibilidade. Geralmente, o espectro de frequência é determinado por órgãos reguladores do governo, e para cada faixa de frequências há uma aplicação específica, assim como dito no item 2.2.1.1.

A distância entre os pontos é outro fator determinante nesta constatação, pois com ela se determina qual a intensidade do sinal que será recebido no ponto, ou seja, qual a atenuação que o sinal sofrerá durante a transmissão. Para os diferentes canais de comunicação, o sinal sofrerá diferentes atenuações para diferentes distâncias. Como exemplo, podemos dizer que para distâncias maiores que 60 km usam-se transmissores em HF e para distâncias menores podem ser usados VHF. Pondera-se, portanto, a frequência de operação em função da distância entre os pontos e da atenuação máxima permitida para o módulo de transmissão.

A análise do tipo de terreno e vegetação e da umidade do ar do local de aplicação do sistema são alguns empecilhos para um projeto de um sistema baseado na comunicação sem fio. Fatores como a densidade de vegetação e umidade do ar afetam diretamente a intensidade do sinal em UHF. Como exemplo pode-se citar a atenuação de um sinal em um mesmo setor de uma floresta. Atenuação de 2dB para uma frequência de 30MHz e de 40dB ou mais para uma frequência de 900MHz [9]. Já o tipo de terreno e a geografia do local são fatores determinantes na escolha da frequência usada. Como já foi dito, o estabelecimento de múltiplos caminhos, no caso de altas frequências, e a difração são características que definem qual a frequência que será mais bem aplicada para cada tipo de terreno.

Todas as considerações a respeito das características do espectro de ondas de rádio-frequência foram explicitadas no item 2.2.1.2, e nas tabelas 2.3 e 2.4.

Além disso, a infra-estrutura necessária também deve ser calculada. Em sistemas de comunicação sem fio, a antena é fator fundamental na boa irradiação da onda na transmissão. Ainda, alguns dispositivos podem ser necessários para evitar a intermodulação, como duplexadores, multiacopladores, splitters ou pré-amplificadores. Outro item de infra-estrutura necessária no projeto de telemetria é o cabeamento. O

cabo coaxial é, praticamente, usado em todos os projetos. Informações sobre cabos coaxiais foram explicitadas na seção 2.2.2.

Então, a partir da frequência de operação, uma lista de equipamentos pode ser montada. O levantamento destes equipamentos traz consigo uma quantidade de informações referentes às características funcionais destes, sobre potências de transmissão, tecnologia de transmissão, dimensões das antenas e seus tipos, entre outras. Outro fator importante na determinação do equipamento é a acessibilidade a estes equipamentos, pois isso reflete diretamente no custo final deste.

Já no caso de a comunicação ser efetuada via cabo, as definições sobre a frequência de operação e distância também são necessárias, visto que a atenuação do sinal se dá em função destes dois parâmetros. Fibras óticas são imunes ao ruído e transmitem em largura de banda maior. Cabos coaxiais possuem maior atenuação em grandes distâncias e à frequências altas, mas é isolado e parcialmente imune a ruídos externos. Pares trançados são mais usados em comunicações que necessitem de uma taxa de transmissão alta, porém em distâncias relativamente curtas. Assim, os parâmetros necessários para a definição de uma comunicação confiável baseiam-se não só no dispositivo e sim no cabo usado. Conhecendo estes parâmetros, o equipamento pode ser especificado, em função das mesmas características funcionais presentes na transmissão sem fio. As considerações a respeito de comunicação via cabo foram dadas na seção 2.2.2.

Portanto, pode-se dizer que em suma, o critério de escolha da frequência baseia-se nos seguintes itens:

- Distância entre os pontos remotos
- Tipo de terreno
- Tipo de vegetação (para comunicações sem fio)
- Padrões climáticos (para comunicações sem fio)
- Ruídos em geral
- Disponibilidade de frequências (para comunicações sem fio)
- Disponibilidade de equipamento
- Taxas de transferência necessárias pelos dispositivos
- Custo

Percebe-se uma paridade no critério de escolha para dispositivos tanto de comunicação sem fio quanto para comunicação via cabo.

4. Telemedição

Este projeto pôde ser amplamente observado, em desenvolvimento e execução, durante programa de estágio desenvolvido entre março de 2008 e dezembro de 2008, na divisão de Engenharia de Sistemas e Medição, DEES, do grupo CPFL Energia.

A princípio será feita uma apresentação sobre o projeto e em seguida serão definidos alguns pontos em comum com a proposta de metodologia elaborada no capítulo anterior.

Basicamente, a medição de energia elétrica se dá através de um wattímetro e um registrador. Wattímetro é um instrumento que possui uma bobina que mede diretamente intensidades de corrente e outra bobina para tensões. Em um medidor eletromecânico, um conjunto de forças, causadas pelo campo magnético das bobinas, faz com que um disco gire, registrando uma quantidade de energia. Em um medidor eletrônico, este disco é substituído por um registrador que contabiliza um pulso a cada quantidade de energia consumida pelo cliente.

Para clientes que possuem consumo de energia elevado, a fabricação de medidores tão robustos é inviável. Para tal, é necessário medição indireta. Entende-se por medição indireta a utilização de transformadores para instrumentos (TI) que fornecem correntes e tensões proporcionais às aplicadas em seus primários, possibilitando, dessa forma, o uso de medidores convencionais e, geralmente, padronizados. A energia medida indiretamente é, então, multiplicada por uma constante, obtida das relações dos TI's e de uma constante do medidor, para obtenção da energia total consumida.

Atualmente, a discussão em torno do mercado de energia abriu as fronteiras das concessionárias aos clientes que possuem uma demanda de energia maior que 300kW, ou seja, este cliente pode comprar lotes de energia de qualquer distribuidora mesmo que ele não pertença a área de concessão da mesma. Porém, para que isto seja possível, a subestação deste cliente deve passar por um processo de adequação, em que dentre as regras especificadas, há considerações a respeito da telemedição. Estas regras também são válidas para subestações de fronteira, cogeneradores e usinas conectadas a rede de distribuição. [16]

Nestas considerações pode-se facilmente perceber que a variável mensurável é a energia elétrica consumida e que deve ser medida de forma ininterrupta, armazenada para posterior leitura remota. Dependendo da classe de tensão a que o

cliente está conectado, os TI's podem ser de uso externo ou interno. No caso de uso interno, quando conectados a classe de 15kV, há um cubículo de entrada da linha, e a instalação segue todas as instruções de segurança especificadas pela ABNT. Neste mesmo cubículo há o painel de medição. No caso de uso externo, quando conectados as classes superiores, os TI's são instalados na subestação do cliente e o painel de medição pode ser encontrado na sala de operação da subestação, normalmente dimensionada para dispositivos de proteção.

O painel de medição, local de instalação do instrumento, é uma caixa fabricada em chapas de aço com medidas recomendadas de 2000x800x600mm (AxLxP) e aterradas com cabo de cobre de seção 50mm². Internamente, deve possuir um conjunto de calhas para a passagem e organização dos cabos de controle e possuir um conjunto de borrachas que forneçam proteção contra água e poeira. Os cabos de controle, internos ao painel devem possuir isolamento mínima de 750V e bitola mínima de 2,5mm². Além disso, os cabos de controle externos devem ser blindados e possuir cores específicas para cada fase e terra. Ainda, este painel deve possuir um rack ou bandeja para que seja possível a instalação de outros equipamentos que não necessitem de fixação. Além disso, a caixa de aço deve possuir dispositivos de lacre para evitar possíveis fraudes por parte dos clientes.

As especificações determinam que os transformadores de instrumentos devam possuir exatidão de 0,3% em todas as fases e a determinada carga. A fim de descobrir esta carga, um ensaio do TI é contratado e constata-se dentro de alguns valores estabelecidos, qual o valor máximo de carga para que não haja sobrecarga no TI e eventualmente uma perda de exatidão. Após este ensaio, é realizado o cálculo de carga imposta ao circuito secundário do TI, sendo que este valor nunca deve ultrapassar o valor constatado no ensaio. Calculam-se, portanto, as potências dissipadas pelos cabos de controle, pelo filtro de rede e, conseqüentemente pelo medidor. Os TI's podem ser de diversas fabricantes e diversos modelos, dependendo da classe de tensão a qual ele será submetido, mas a classe de exatidão no enrolamento secundário deve ser respeitada. Geralmente, estes TI's são fabricados sob encomenda, em que o cliente determina, até certo ponto, as características dinâmicas deste instrumento. Em contrapartida, o filtro de rede e o medidor são padrões CPFL, sendo usados componentes da marca *ELO Sistemas Eletrônicos*.

O filtro de rede, modelo ELO317, é um dispositivo que garante a alimentação dos medidores de forma ininterrupta, mesmo que falte energia. Para tal, este filtro é conectado aos TP's, responsáveis pela alimentação do equipamento, e a um banco de baterias ou no-break, que atuam por até 100 horas no caso de falta de energia. Este componente, então, em caso de falta de energia nos TP's, altera a fonte de

alimentação para o no-break, garantindo alimentação estabilizada para o equipamento e, conseqüentemente, a manutenção de todos os dados armazenados em memória durante este período.

O medidor de energia é algo imprescindível em um sistema como esse. No caso da telemedição, a padronização de um modelo se fez necessária, devido ao uso de protocolos de comunicação fechados (protocolos em que não se tem acesso às regras de comunicação) que se diferenciavam a cada empresa fabricante. Logo, o medidor padronizado foi o modelo ELO2180. Este modelo atende todas as normas reguladas pelos órgãos competentes e às exigências da CPFL. Como características principais deste medidor (instrumento) podem citar: [17]

- Medição de potências ativa, reativa (4 quadrantes), aparente, fator de potência e análise do circuito
- Exatidão de 0,2% conforme norma ABNT NBR 14519
- Correntes de tensões nominais de 2,5A e 120V, respectivamente
- Temperatura de funcionamento de 0 a 70°C
- Umidade de até 95% sem condensação
- Interface ótica para comunicação com dispositivo leitor ou computador
- Memória com capacidade de armazenar registros por período de 32 dias
- Entrada de dados GPS para sincronismo de tempo
- Comunicação via portas RS-232 ou RS-485 com conversão para padrão Ethernet



Figura 4.1 – Medidor ELO2180 [17]

Os dois modelos do medidor representados na figura 4.1, de sobrepor (à esquerda) e de embutir, diferem apenas no método usado para a instalação no painel, pois possuem as mesmas características. A instalação do medidor de sobrepor é toda frontal, ao contrário do de embutir.

Pode-se dizer, ainda, que este medidor realiza as funções do bloco de instrumentação, pois é o medidor quem realiza a leitura do consumo de energia elétrica, e uma parte das funções do bloco de processamento, pois este medidor já configura o sinal para que em sua saída haja comunicação no padrão RS-232, ótico ou Ethernet.

Para o bloco de instrumentação, nota-se que a variável primária a ser medida é a energia elétrica. Porém como foi declarado nas especificações do modelo de medidor, este também mede potências reativa e aparente, tendo, portanto, capacidade de fazer uma análise do circuito através de cálculos. O condicionamento dos sinais pode ser observado nos TI's que compõem o circuito e determinam a medição indireta desta energia.

Além disso, o medidor deve ser acompanhado de *softwares* que permitam a programação, a leitura remota (telemedição) deste e possibilitar a criação de arquivos históricos em formato de planilha de dados.

O sincronismo de tempo é feito por uma antena receptora do protocolo NMEA (GPS), que acoplada aos medidores sugere o horário com exatidão de 1ms. Esta antena deve possuir capacidade de leitura de até oito satélites simultaneamente e interface de comunicação RS-232 e 485. Este dispositivo é necessário devido a uma diferença de tarifas de acordo com a hora do dia, isto é, uma tarifa diferenciada (mais cara) para horários de maior demanda do sistema elétrico.

A Unidade de Comunicação Remota é a unidade responsável pela coleta de dados dos medidores. Como o sistema de coleta de dados de energia (SCDE) é uma rede baseada no protocolo TCP/IP, este sistema permite este tipo de conectividade por meio dos diversos sistemas de comunicação, ou seja, cria um canal de comunicação IP para telefonia celular, link de RF ou até mesmo satélite. Essa possibilidade abre espaço para que o cliente escolha qual a mídia de comunicação que mais se encaixa no perfil. Além das mencionadas acima, a própria internet, através do protocolo VPN IPsec, e o frame-relay também podem ser escolhas do consumidor. Assim, a concessionária e o consumidor entram em comum acordo para determinação do melhor canal de comunicação de modo que o sistema funcione adequadamente e não seja tão oneroso para ambos os lados. Canais de comunicação baseados no frame-relay e no satélite são onerosos ao consumidor, pois estes contratam uma empresa prestadora de serviço que cobram mensalidades altas pelo

serviço. Links por telefonia celular são mais baratos no quesito mensalidade, mas oneram a empresa concessionária, pois esta paga uma tarifa de uso por leitura efetuada, assim como a ligação de um celular. Links de RF ponto-a-ponto são descartados como opções, pois normalmente as distâncias entre os pontos são grandes, impossibilitando o uso deste canal. Em contrapartida, a leitura via internet favorece ambos os lados no quesito financeiro, mas prova-se uma catástrofe operacionalmente.

Desta maneira, cada medidor é programado com um endereço IP, cadastrado na sub-rede, que por consequência pode ser acessada remotamente, através de qualquer canal de comunicação, e lida através do *software* desenvolvido para tal. Este sistema ainda permite o redirecionamento da leitura para fins de auditoria, através de tabelas NAT, ou seja, um cliente especial pode acessar a rede corporativa da CPFL e receber dados de um medidor.

Neste contexto, há basicamente dois tipos de unidades remotas sendo aplicadas em equipamentos de telemetria nos sistemas da CPFL. Como a saída do medidor é baseada na interface Ethernet, para aplicações que usam comunicação via frame-relay, ou via VPN, basta o roteamento destes dados para acesso pela rede corporativa da concessionária. Para tal, o roteador especificado deve suportar os protocolos necessários, como TCP/IP, e as mídias de comunicação convenientes [18].

Assim, este dispositivo atua como módulo de processamento, já que traduz um sinal proveniente da nuvem de comunicação externa com a rede interna, como também atua como módulo de transmissão, pois executa a transmissão deste mesmo sinal. (Vide figuras 2.3 e 4.4)

No caso de comunicação por telefonia celular são necessários dois dispositivos para a comunicação: um transceptor celular (CDMA ou GSM) e uma unidade remota. A unidade remota, basicamente, provém conectividade IP ao sistema celular. A figura 4.2 mostra um módulo da ADTS, modelo MCC. Este módulo possui os seguintes atributos: [19]

- Introdução de conectividade IP em rede via celular
- Interface RS-232 e RS-485
- Cabo serial direto com conector DB-9
- Hardware microcontrolado, ou seja, parâmetros programáveis.
- Correção de erro
- Temperatura de operação de até +70°C
- Alimentação em 12V

Dessa forma, permite que qualquer sistema com interface RS-232 possa ser acessível via TCP/IP remotamente em um canal de comunicação sem fio.



Figura 4.2 – Módulo de processamento ADTS

Já o transceptor celular o qual atua como módulo de transmissão é definido usando dois tipos de tecnologia: o CDMA e o GSM. Sendo assim, o exemplo de dispositivo usado em campo pela CPFL é apresentado na figura 4.3.

Este dispositivo, de fabricação Motorola®, é um transceptor celular com as seguintes características funcionais: [20] [21]

- Dual band tri mode CDMA 1x 800/1900MHz
- AMPS 800MHz CDMA 1x voz e dados
- 1xRTT máximo 153,6kbps
- Conector serial direto DB-9
- Potência de saída de 24dBm
- Correção de erro

Desta forma, conectado à unidade remota, este transceptor recebe atende uma chamada de abertura de canal de comunicação e fecha o enlace com a rede corporativa da empresa. Assim, dá-se a transmissão, via IP, dos dados recolhidos no medidor. Para maiores detalhes, consultar site da Motorola.

Em outros casos, pode-se também usar um transceptor GSM com as seguintes especificações: [22]

- Dual band EGSM900 e GSM1800
- GPRS mobile station classe B
- GPRS máximo 85,6kbps
- Conector serial direto DB-9
- Potência de saída classe 4 (2W) em EGSM900 e classe 1 (1W) em GSM1800
- Controles via comandos AT
- Leitor de cartão tipo Mini-SIM



Figura 4.3 – Módulo de transmissão CDMA C18 Motorola

Os dois equipamentos supracitados são usados em aplicações de telemedição e em automação de subestações para o controle de relés digitais.

A especificação dos dois módulos é bem parecida, pois como se trata de uma região de concessão grande, seria impossível atingir taxas de transferência suficientemente altas para as distâncias requeridas, assim como pode ser visto nas seções 2.2.1.2 e 3.3. A solução foi integrar ao sistema uma prestadora de serviços, no

caso uma operadora de telefonia celular. A especificação destes modems se dá, então, no alinhamento com as exigências do sistema de telecomunicações da operadora celular. Percebe-se, também, pelas características desta faixa, que as taxas de transferência de dados são elevadas e que mesmo o sinal tendo bastante atenuação no espaço livre, há uma boa qualidade na recepção, pois as antenas das operadoras não são largamente espaçadas. Pelas especificações nota-se, ainda, que a faixa de frequências usada é a média de UHF. Assim, com a frequência definida, pontuaram-se as melhores opções no mercado para o equipamento.

A figura 4.4 representa a arquitetura básica do sistema de telemedição. Nela consta o painel de medição, a conexão deste painel com a nuvem de comunicação do prestador de serviços, a conexão deste serviço com a concessionária e a conexão da concessionária com a CCEE, como foi dito anteriormente.

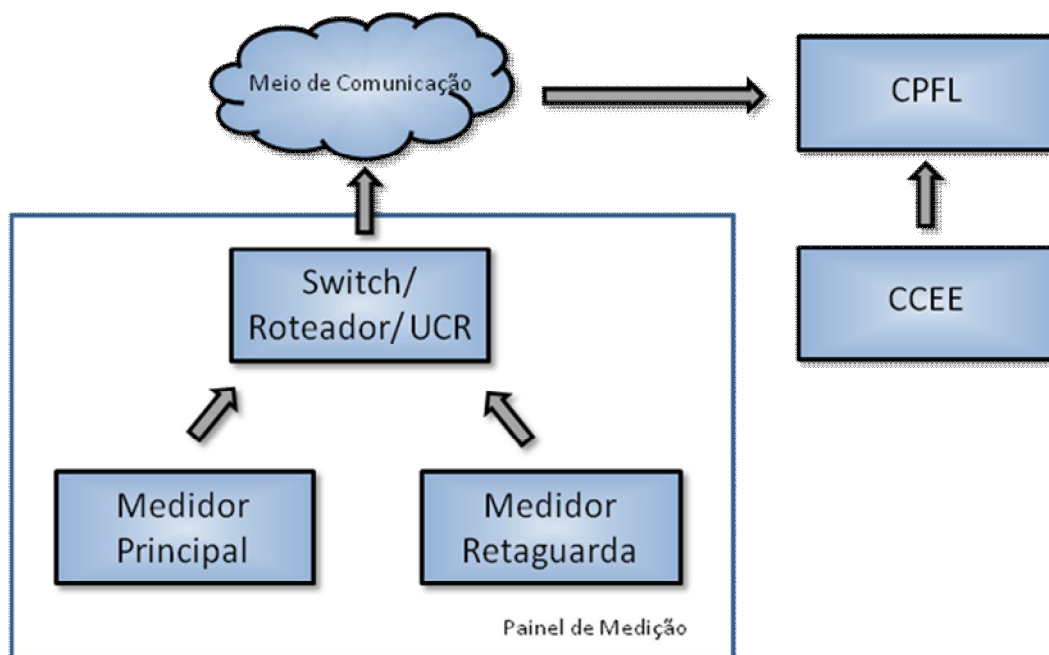


Figura 4.4 – Arquitetura do sistema de telemedição [16]

Finalmente, este *software* de leitura, ELO/ZFA, reconhece o protocolo de comunicação do medidor. Baseia-se em uma rede cliente-servidor conectado a rede corporativa da CPFL e uma base de dados relacional ORACLE. Este sistema coleta as informações através das diversas mídias possíveis e permite que clientes especiais, como a CCEE, possam acessar informações dos medidores para fins de auditoragem.

Após esta fase de projeto, sendo que este deve ser aprovado pelo ONS, a fase de comissionamento do ponto de medição determina se todas as características atribuídas foram executadas com sucesso, faz-se o ensaio de carga imposta, para

conferência do que fora calculado, e testam-se medidores para avaliar suas reais condições.

Nota-se nesta análise que todos os componentes foram meticulosamente especificados e homologados.

➤ O medidor, instrumento principal neste sistema, possui tantas singularidades que houve necessidade de desenvolver um modelo novo. Sua ressalva, portanto, é apresentada no fato de haver dependência com apenas um modelo, o quê, em valores comerciais, pode ser desastroso. Em outra análise, supondo que as especificações não fossem corretamente obedecidas, erros apareceriam. Estes erros poderiam ser desde um erro de leitura até a perda de dados por falta de memória. Erros de leitura, propagados por uma classe de exatidão diferente da especificada, em termos de 'kilograndeza' ou 'megagrandeza', causariam um desvio relevante na medição impactando diretamente no valor, em moeda, cobrado.

➤ Os TI's, respeitadas as classes de exatidão, seguem todas as normas brasileiras e não apresentam nenhum obstáculo a execução do projeto. Neste caso, supondo que o conjunto de TI's não respeitasse as especificações, os valores proporcionais de corrente e tensão teriam um erro percentual, o qual 'enganaria' o medidor, executando leitura imprópria, novamente, refletindo em valor financeiro.

➤ Assim como o medidor, o filtro de rede também foi projetado sob demanda e, segue a mesma crítica. Em caso de não existência deste filtro, qualquer instabilidade na linha poderia gerar uma intermitência na medição. No caso mais grave, a falta de energia por longo tempo pode impactar na perda de dados gravados na memória de massa.

➤ Os *softwares* de interface foram desenvolvidos juntamente com o hardware e, portanto, complementam seu uso. Sem a existência destes, nada se poderia fazer nos âmbitos de programação do medidor, além da leitura pela porta ótica, por equipamento, e leitura remota.

➤ Para o painel de medição, a rigidez nas especificações determina um ambiente propício para os instrumentos, além de promover um ambiente livre de fraudes.

➤ O caso mais complexo deste sistema é a escolha correta de um canal de comunicação. Obviamente, é inconcebível avaliar um sistema sem a mídia de comunicação.

- No caso de frame-relay, o canal é modelado, e geralmente, são canais extremamente confiáveis, com probabilidade baixa de erro ou não leitura.

Porém, são canais que não interessam diretamente o cliente, pois é um método muito oneroso. Nestas condições, o consumidor prefere optar por canal menos confiável e mais barato.

- No caso da telefonia celular, outro sistema que possui uma confiabilidade grande, o custo é relativamente alto para a concessionária. Nestas condições, o uso deste sistema se dá apenas em condições críticas, as quais os outros métodos são, definitivamente, inviáveis. Neste caso, a especificação do modem também deve atender as especificações das empresas prestadoras de serviço.
- O meio mais barato é o uso das redes corporativas das empresas, ou seja, o medidor lido via internet. O uso inadequado da rede, mudanças repentinas nas configurações da rede do consumidor, mau contato nos cabos causado por manuseio indevido dos equipamentos, entre outros, são problemas que se associam a este sistema, tornando-o um sistema instável para leitura remota, exigindo constante manutenção por parte dos técnicos da companhia, pois o sistema inteiro é lacrado.

Desta forma, nota-se que ainda estão sendo desenvolvidos ou especificados sistemas que garantam uma confiabilidade boa e que não sejam tão onerosos. Atualmente, o foco tem sido a busca de uma solução de transmissão de pacotes de dados, assim como é feito com GPRS e o 1xRTT para os casos de GSM e CDMA, respectivamente.

5. Conclusão

Este trabalho visou o estudo dos sistemas que compõem um sistema de telemetria e, analisando projetos desenvolvidos, estabeleceu um padrão de metodologia. A partir desta metodologia foi feita uma análise de um projeto de telemedição aplicado aos consumidores de energia elétrica do grupo CPFL Energia.

A dificuldade principal encontrada foi a dificuldade de se obter uma bibliografia direta, ou seja, bibliografia que tratasse exclusivamente do assunto telemetria. Como pode ser visto, nas referências bibliográficas assinaladas, o trabalho se resume a uma coletânea de projetos diferentes de telemetria, em que se pôde analisá-la com um sistema independente de suas aplicações. Algumas referências têm como foco algum dos subsistemas, enquanto outras tratam de casos específicos aplicados ao conceito.

Além disso, preferiu-se a abordagem das características dos projetos e não dos projetos em si. Alguma teoria, logicamente, foi abordada, mas a análise dos seus atributos foi peça dominante.

A apresentação do projeto de telemedição, no capítulo 4, corrobora os capítulos anteriores, pois sugere uma divisão bloco a bloco, em que, claramente, percebe-se que, inicialmente, foram feitas constatações a respeito do problema. Em seguida, constatações a respeito do instrumento. Após, dos tipos de comunicação e seus dispositivos. Por fim, apresentou-se uma estrutura que define a arquitetura do sistema, propondo uma visão geral de como este funciona.

Todavia, o caso exemplo assinalado não foi a melhor escolha para complementar a metodologia proposta. O medidor, elemento principal deste sistema, é um equipamento singular, que domina todos os passos propostos para o bloco de instrumentação. Algumas avaliações foram feitas em função dos transformadores para instrumentos, mas são poucas possíveis perto das possibilidades. Para o canal de comunicação e os seus modos, houve muitas opções, mas claramente a opção mais explícita foi a transmissão via celular. Por fim, uma análise das possibilidades problemáticas deste sistema foi efetuada, supondo que alguns itens especificados não fossem delineados corretamente, ou não fossem exigidos.

6. Sugestão para Trabalhos Futuros

- Projetar e executar um sistema de telemetria baseado na metodologia proposta.
- Melhorar metodologia de projeto comparando a metodologia aplicada a diferentes projetos
- Escolher um caso-exemplo que corrobore com mais eficiência a metodologia proposta por esta monografia, ou pelas próximas.
- Melhorar metodologia de projeto para cada subsistema baseado em projetos que possuam o objetivo semelhante
- Aprofundar conhecimento em cada subsistema, garantindo excelência no projeto

7. Referências Bibliográficas

- [1] Tepper, M., **Fundamentals of radio telemetry**. (1959). New York. 1ª Ed.
- [2] Imagem do GP Brasil 2008 e Silverstone 2002 em: www.formula1.com
Acesso: dia 26 de dezembro de 2008, às 20h
- [3] Gruenberg, E. L., **Handbook of telemetry and remote controls**. (1967). McGraw-Hill, 1ª Ed.
- [4] Fraden, J., **Handbook of modern sensors – Physics, Designs and Applications**. (2004). LLC. 3ª Ed.
- [5] Dally, J. W., **Instrumentation for engineering measurements**. (1984). New York. 2ª Ed.
- [6] James Clerk Maxwell – Eletromagnetismo e Luz em: www.ifi.unicamp.br/~ghc/Biografias/Maxwell/Maxwelleletreluz.html,
Acesso: dia 13 de outubro de 2008, às 1h.
- [7] ANATEL – Plano de Destinação de Faixas de Frequência em: <http://sistemas.anatel.gov.br>,
Acesso: dia 13 de outubro de 2008, às 16h
- [8] Staravengo, A. A., **Telemetria de dados e imagens para plataforma autônoma para coleta de dados hidrológicos**. (2006). Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006
- [9] Bailey, D., **Practical Radio Engineering and Telemetry for Industry**. (2003). Elsevier. 1ª Ed.
- [10] INPE – Características do espectro infravermelho em: www.las.inpe.br/~cesar/Infrared/espectro.htm,
Acesso: dia 15 de outubro de 2008, às 15h
- [11] Montbeller, S. J., **Estudo sobre o emprego de dispositivos sem fio – wireless na automação do ar condicionado e de outros sistemas prediais**. (2006). Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006

-
- [12] Navarro, M. D., **Telemedição de medidores eletrônicos de energia na rede de TV a cabo**. (2006). Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006
- [13] ABC sobre Spread Spectrum em: <http://sss-mag.com/ss.html>,
Acesso: dia 4 de outubro de 2008, às 23 horas.
- [14] Guimarães, A. A., **Análise das normas ISO11783 e sua utilização na implementação do barramento do implemento de um monitor de semeadora**. (2003). Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003
- [15] França, G. A. T., **Estudo e especificação de um sistema de telemetria usando a tecnologia Spread Spectrum**. (1997). Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997
- [16] GED 11318 – **Sistema de Medição de Faturamento – Adequação de Clientes Livres**, Instrução. (2007)
- [17] Manual do Fabricante – ELO2180, www.elonet.com.br,
Acesso: dia 7 de janeiro de 2009, às 13h
- [18] GED 10322 – **Especificação de Roteadores para Telemedição**, Especificação Técnica. (2006)
- [19] Manual do Fabricante – ADTS MCC, em: www.adts.com.br
Acesso: dia 02 de dezembro de 2008, às 10h
- [20] Manual do Fabricante – Motorola C18 CDMA, em: www.motorola.com
Acesso: dia 02 de dezembro de 2008, às 12h
- [21] GED 11254 – **Radio Modem Spread Spectrum**, Especificação Técnica. (2007)
- [22] GED 10325 – **Especificação de Modems Celulares GSM_GPRS**, Especificação Técnica. (2007)