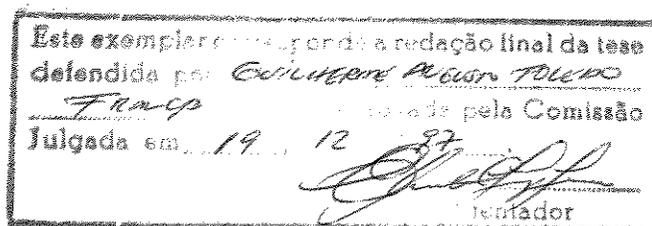


UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA E COMPUTAÇÃO - FEEC
DEPARTAMENTO DE ELETRÔNICA E MICROELETRÔNICA - DEMIC

Estudo e Especificação de um Sistema de Telemetria Usando a Tecnologia Spread Spectrum

Guilherme Augusto Toledo França

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica



Área de concentração:
ELETRÔNICA E COMUNICAÇÕES

Orientador:
Prof. Dr. Elnatan Chagas Ferreira

Campinas
Dez./97

F844e
35419/BC



UNIDADE	BC
N.º CHAMADA:	T/UNICAMP
	F844e
V. Ex.	
COMBO BC/35419	
PROC. 395/98	
C <input type="checkbox"/> D <input checked="" type="checkbox"/>	
PPFCD	R\$11,00
DATA	09/30/98
N.º CPU	

CM-00117044-7

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

F844e França, Guilherme Augusto Toledo
Estudo e especificação de um sistema de telemetria usando a tecnologia Spread spectrum. / Guilherme Augusto Toledo França.--Campinas, SP: [s.n.], 1997.

Orientador: Elnatan Chagas Ferreira
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação.

1. Sensoriamento remoto. 2. Comunicação com dispersão de espectro. I. Ferreira, Elnatan Chagas. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. III. Título.

Agradecimentos:

“É com muita satisfação que agradeço a todas as pessoas que contribuíram, de alguma forma, para a realização desta dissertação, particularmente, agradeço a empresa Josaphat Engenharia Ltda., que acreditou na viabilidade e aplicabilidade dos meus estudos, pelo apoio ao desenvolvimento das minhas atividades e também aos meus colegas de mestrado, professores e funcionários do DEMIC pelo companheirismo demonstrado.

Ao meu Orientador dedico meu agradecimento especial pela confiança, apoio e compreensão. A minha família e noiva agradeço pelo auxílio nos momentos difíceis e pelo carinho durante este período.”

“Espero que, a cada dia, nos tornemos pessoas mais úteis a humanidade, sejamos pessoas felizes e que, ao fazermos o bem aos nossos semelhantes, façamos a nós mesmos.”

Resumo:

O enfoque principal deste estudo é um sistema de aquisição de dados, à distância, usando a tecnologia *Spread Spectrum*. Esta pesquisa foi aplicada em um projeto piloto desenvolvido para a Companhia de Saneamento Básico de São Paulo - Sabesp e em outros projetos. Foram feitos estudos, ensaios e medidas de campo que confirmam a eficácia desta proposta. A dissertação apresenta conceitos de sistemas de telemetria tradicionais e oferece parâmetros para o seu desenvolvimento. Foram feitos estudos das características da tecnologia *Spread Spectrum*, bem como a sua aplicação para telemetria, e os resultados preliminares foram bastante satisfatórios. Existe uma grande tendência para o uso do Spread Spectrum para várias finalidades e certamente as informações contidas nesta dissertação poderão ser de grande utilidade para futuras pesquisas .

Abstract:

“The main subject of this study is a system of data acquisition, at distance using the Spread Spectrum technology. My intention in the initial chapter is to show traditional telemetry systems and, particularly, how works the traditional SCADA system. The approach of Spread Spectrum techniques, including features about the two more common techniques (direct sequence and frequency hopping), will be made in the third chapter. Some trials will confirm the effectiveness of the applications using the Spread Spectrum technology. Finally, I present the results of the trials which were developed to attend an important company of water and waste water. During the development period, the most important result of this work was the knowledge acquired of the Spread Spectrum Systems and the new applications that I identified using the same concepts. The results of this dissertation will be available for futures researches.”

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	8
1.1 - Histórico	8
1.2 - Objetivos	8
CAPÍTULO 2 - SISTEMAS DE TELEMETRIA	10
2.1 - O que é telemetria?	10
2.2 - Introdução	10
2.2.1 - Centrais de monitorização	11
2.2.2 - Telemetria local	11
2.3 - Planejamento de um sistema de telemetria	11
2.4 - Identificação dos dados	13
2.5 - Interface com usuários	13
2.6 - Software	14
2.7 - Sistemas Modernos de Telemetria	14
2.7.1 - O Sistema SCADA	15
2.7.2 - Diagrama de um sistema MOSCAD-SCADA	15
2.7.3 - Conceito de um sistema MOSCAD-SCADA	16
2.7.4 - A comunicação entre RTUs	18
2.7.5 - Programando o sistema	19
2.7.6 - Centrais de Controle	19
2.8 - Conclusões	20
CAPÍTULO 3 - A TECNOLOGIA SPREAD SPECTRUM	22
3.1 - O que é Spread Spectrum ?	22
3.2 - Vantagens com a utilização do Spread Spectrum	23
3.3 - Teorema de Claude Shannon	26
3.4 - Correlação	27
3.5 - Aplicações comerciais	27
3.6 - Técnicas utilizadas em Spread Spectrum	28
3.6.1 - Direct Sequence	28
3.6.2 - Frequency Hopping	31
3.6.3 - Técnicas híbridas	34
3.7 - Análise comparativa entre as técnicas FH e DS	36
3.6 - Cálculo da performance do Direct Sequence S.S. - CDMA	40

3.6.1 - Considerações iniciais:	40
3.6.2 - Capacidade para uma única célula:	41
3.6.3 - Capacidade para múltiplas células:	42
3.6.4 - Atividade de voz:	44
3.6.5 - Setorização:	45
3.6.6 - Controle de potência:	45
3.7 - Comparação entre os sistemas AMPS e o CDMA	46
3.8 - Comentários finais	46
3.9 - Conclusões	48
CAPÍTULO 4 - ESPECIFICAÇÃO DE UM SISTEMA DE TELEMETRIA USANDO SPREAD SPECTRUM	49
4.1 - Introdução	49
4.2 - Vantagens da aplicação	50
4.3 - Visão geral	52
4.4 - Ensaio preliminares	53
4.5 - Requisitos e especificação dos componentes do sistema	64
4.6 - Visão geral para telemetrização de hidrômetros	65
4.6.1 - Coletor de Dados e Transmissor	65
4.6.2 - Aquisição do sinal	66
4.6.3 - Lógica de funcionamento	67
4.6.4 - Transmissão de dados	67
4.6.5 - Instalação dos coletores de dados e transmissores seriais	68
4.6.6 - Centrais Repetidoras de Sinal	68
4.6.7 - Instalação das centrais repetidoras	68
4.6.8 - Central Receptora	69
4.6.9 - Especificação do Software	69
4.7 - Resultados que o sistema deverá produzir	71
4.8 - Projeto piloto de telemetrização de hidrômetros	73
4.8.1 - Objetivos	73
4.8.2 - Diagrama	73
4.8.3 - Visão geral	74
4.8.4 - Condições dos testes	74
4.8.5 - Procedimento	75
4.8.6 - Critério para definição do margem do sinal	75
4.8.7 - Resultados	76
4.9 - Resultados e conclusões finais	79
BIBLIOGRAFIA	81

CAPÍTULO 1 - Introdução

1.1 - Histórico

As técnicas de espalhamento espectral foram desenvolvidas pelos militares por volta da década de 20 e aperfeiçoadas com o passar dos anos para uso exclusivamente militares até os anos 80. Devido as suas características peculiares, estas técnicas começaram a ser aplicadas comercialmente e atualmente são conhecidas como *Spread Spectrum* - *SS* (Espalhamento Espectral). O *SS* tem sido aplicado em rede de computadores, modems, pabx, telefonia celular, sistemas de sensoriamento, segurança, automação, controle e telemetria.

Particularmente, meu interesse em fazer leitura de dados remotamente por rádio frequência surgiu à 3 anos atrás, ainda como graduando, durante o período em que estagiei na CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais S.A.. Com base nos conhecimentos adquiridos neste período, identifiquei a possibilidade de utilização de telemetria.

Para atingirmos nossos objetivos, realizamos estudos práticos da performance de equipamentos que utilizam a tecnologia de transmissão de sinais sem fio *SS*. Os ensaios permitiram a confirmação do desempenho do *SS* e suas particularidades. Posteriormente, fizemos análises da sua aplicabilidade em sistemas de telemetria.

Acreditamos ser a técnica de espalhamento espectral, devido as suas particularidades, a melhor opção sem fio para aplicação em telemetria. Esta dissertação foi denominada: “**Estudo e Especificação de um Sistema de Telemetria usando a tecnologia *Spread Spectrum***”.

1.2 - Objetivos

O estudo de sistemas de telemetria tradicionais e das técnicas de espalhamento espectral serão apresentados como referências e darão subsídios que irão fundamentar a especificação do sistema de telemetria proposto. O principais objetivos desta dissertação são:

- 1) Confirmar os estudos teóricos.
-

- 2) Conseguir informações relevantes para o desenvolvimento de projetos que utilizem a tecnologia *SS*.

Como resultado deste estudo, pretendemos obter conhecimento dos sistemas de telemetria existentes, estudar o funcionamento dos mesmos, aprofundar no estudo da tecnologia *Spread Spectrum - SS* e, finalmente, desenvolver aplicações usando equipamentos disponíveis no mercado.

Um dos potenciais usuários dos sistemas de telemetria são empresas de abastecimento de água e coleta de afluentes, as quais utilizam estes sistemas para controle de nível de reservatórios, estações de tratamento, estações de bombeamento e leitura de totalizadores de vazão. Empresas distribuidoras de energia elétrica também podem usar este sistema para monitorar a demanda dos consumidores e estabelecer criteriosamente atividades para manutenção e operação.

Sistemas similares, para monitorização da demanda de energia elétrica e controle de sistemas de irrigação e outros têm sido implantados (como exemplo posso citar a empresa UNITEC a qual possui alguns exemplos destes sistemas disponíveis na sua *home page* [22]). Sistemas para controle da energia elétrica possuem como grande vantagem a possibilidade de monitorar o consumo e reduzir a demanda nos horários de pico. É claro que somente isto não seria solução definitiva para um sistema elétrico, contudo ajudaria grandemente na sua operação. Esse fato é de grande importância pois abre a possibilidade de redimensionar a rede de energia elétrica, pela otimização e melhor distribuição do consumo. Desta forma, evitam-se projetos superdimensionados (para atender consumo de pico) e expansões desnecessárias do sistema de energia elétrica.

Estas atividades de desenvolvimento permitiram a obtenção da capacitação para projetar e implementar sistemas de monitorização de equipamentos “*on-line*”. Alguns projetos foram implementados e, particularmente ensaios foram desenvolvidos visando o desenvolvimento de um projeto piloto do sistema proposto de acordo com as necessidades apresentadas pela **Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - SABESP**.

CAPÍTULO 2 - Sistemas de Telemetria

2.1 - O que é telemetria?

Dentre os conceitos tradicionais de telemetria os dois citados abaixo refletem muito bem o significado desta palavra.

1. O objetivo de um sistema de telemetria, no sentido da palavra, é aquisição de dados de equipamentos à distância.
2. Processo indireto de medição da distância entre o observador e um ponto que lhe é inacessível. Do gr. *tele-*, «longe» + *métron*, «medida» + *-ia* [27].

2.2 - Introdução

Um sistema de aquisição de dados à distância é composto de equipamentos ou máquinas de onde os dados serão extraídos, interfaces para aquisição destes dados (transdutores), forma de transmissão e recepção e, finalmente, a interface com usuário (software).

A forma como os sinais são preparados para a transmissão dependerá do tipo de equipamento. Ocasionalmente, pode ser necessário o desenvolvimento de transdutores e interface para aquisição de dados.

A transmissão dos dados pode ser feita através de fios, cabos, fibra ótica, e rádio frequência (infravermelho, microondas, SS). Os critérios para o uso de uma ou outra forma de transmissão depende do tipo de sistema e do tipo de dados que serão transmitidos. Capacidade e velocidade de transmissão, ambiente, custo da infra-estrutura definem qual a melhor opção. As vantagens dos sistemas sem fio são: custo menor da infra-estrutura, praticabilidade e facilidade da instalação.

A interface com o usuário tornou-se bastante simplificada com a evolução que ocorreu com o hardware nos últimos tempos. Para fazer o processamento das informações pode-se utilizar os computadores (PCs), LANs e WANs tradicionais. Arquivos servidores, roteadores, pontes e centrais locais atualmente ocupam pequenos espaços. A necessidade de computadores de grande porte (mainframe) é diminuída com a dispersão da capacidade de processamento para vários terminais. Os PCs estão processando os dados sem auxílio dos computadores mainframe. Distribuir processamento é uma regra não uma exceção. A dependência entre os computadores aumenta dramaticamente para alguns sistemas que devem suportar operações constantes entre os computadores sem que haja essencialmente perda de tempo.

Logo que forem definidas as áreas e pontos de aquisição, certamente a sua centralização e ou consulta não deverá ser um problema. A troca de informações entre os computadores ou setores poderá ser feita usando as infra-estruturas existentes para Internet e TV a cabo.

2.2.1 - Centrais de monitorização

Uma central de monitorização consiste basicamente de um microcomputador o qual faz a centralização das informações localmente e a processa através de software .

Quando temos sistemas maiores e se percebe a necessidade do uso de várias centrais de monitorização locais torna-se relevante ter uma central de monitorização mestre para receber as informações provenientes de todas as outras centrais locais.

Apesar de ter havido durante um período problemas com incompatibilidade entre alguns sistemas, o uso de procedimentos normativos e de padronização dos transdutores solucionou este problema e permitiu que módulos coletores de dados de diferentes fabricantes se comunicassem.

O sistema de monitorização central tem 2 objetivos:

- 1) Monitorar uma unidade específica do ambiente ou
- 2) Sistemas que já têm um painel de monitoração local .

2.2.2 - Telemetria local

A telemetria local difere da centralizada pois o processamento dos dados de cada unidade é distribuído, no sentido que cada unidade processa os seus dados. Os dados das unidades de uma área são então interpretados por um computador.

Desta forma todas as unidades podem transmitir dados de alarme, condições, valores medidos e calculados para a estação de trabalho. Os dados mostrados no computador são os mesmos de cada unidade.

Os dados tratados por cada unidade podem ser acessados, localmente, por múltiplos usuários através de redes de computadores, deixando os dados disponíveis para todos que necessitarem.

É claro que é possível fazer o gerenciamento dos dados por terminal de acordo com a necessidade do usuário. Sistemas elétricos locais podem ser mostrados em um terminal, hidráulicos em outro e assim por diante. Desta forma pode-se ter para cada terminal o processamento das informações de seu interesse com esquemas e plantas para melhor identificação de ocorrências em alguma unidade remota.

2.3 - Planejamento de um sistema de telemetria

O primeiro passo no planejamento de um sistema de telemetria é identificar a informação requerida. O custo final do sistema é bastante influenciado pela identificação dos dados que serão extraídos.

Existem alguns requisitos básicos, os quais são apresentados na Tab.(2.1), para elaboração de um sistema de telemetria. Inicialmente, deve-se determinar a “inteligência” apropriada e necessária ou seja, o que se precisa para extrair os dados provenientes dos dispositivos. Este é um fator importante pois, dependendo do tipo de dispositivo, pode-se necessitar de interfaces para aquisição dos dados.

É importante também identificar o tipo de informação que será fornecida por cada dispositivo. Estes dados podem ser transmitidos através das seguintes formas de comunicação: cabos coaxiais, fibra ótica, microondas, linha telefônica e por rádio frequência.

Deve-se determinar o local da instalação de todos os dispositivos bem como verificar a alimentação requerida e estabelecer fios e cabos apropriados. Após a aquisição dos dados, preparo da infra-estrutura e especificação da forma de transmissão é necessário uma central de monitorização que fará o processamento das informações e servirá de interface com o usuário. Neste caso deve-se determinar quantos microcomputadores serão necessários para processamento dos dados (se mais de 1 necessita-se uma rede) e especificar o software para o sistema.

Tabela 2.1 - Requisitos para elaboração projeto de um sistema de telemetria.

Requisitos para elaboração projeto de um sistema de telemetria
Determinar apropriada e necessária inteligência;
Identificar informações críticas necessárias;
Dados dos sistemas inteligentes locais;
Selecionar transdutores para áreas sem sistemas inteligentes;
Especificar transdutores para os módulos coletores de dados inteligentes;
Selecionar um computador central para processar todos os dados;
Determinar a interface com o usuário;
Determinar quantos terminais de PC são necessários (se mais que 1 uma rede é necessária);
Que dados são requeridos para cada terminal;
Como os dados devem ser mostrados no terminal;
Planejamento de instalações físicas;
Determinar o local de todos os dispositivos;
Verificar alimentação requerida e apropriada para cada dispositivo;
Estabelecer fiação e comunicação.

2.4 - Identificação dos dados

Existem algumas situações onde é necessário fazer uma monitoração mais fina dos dados críticos (são as informações de maior relevância para um sistema é que determinam o sucesso da telemetrização). Como exemplo de dado crítico temos o controle de temperatura. Para alguns casos, saber a temperatura atual pode ser desejável, mas em outros casos saber apenas se está alta ou baixa já basta. A aquisição destes tipos de dados é feita por meio de um sensor. Depois de adquiridos, os dados são convertidos em sinais elétricos e transmitidos para um módulo coletor de dados que mostra a temperatura atual.

Uma vez que a informação crítica é definida o próximo passo é localizar outros equipamentos que tenham outras possíveis fontes de dados (pontos de monitorização). Em um laboratório de computação, por exemplo, o controle de temperatura no ar condicionado da sala pode não ser crítico mas é desejável e apropriado.

2.5 - Interface com usuários

Uma vez que todas as fontes de dados tenham sido identificadas o próximo passo no planejamento do sistema é determinar a interface com computadores. Deve-se levar em conta:

- O número de computadores que são necessários para se acessar os dados e que tipo de dados são requeridos por cada terminal. Se for necessário mais que um terminal então deve-se ter uma rede local.
 - Para que o acesso às informações se torne mais fácil, cada terminal deve processar apenas os dados compatíveis com ele mesmo. Um terminal deve ser usado como terminal mestre para prevenir que trocas feitas pelos usuários possam afetar outros terminais.
 - A interface com o usuário é feita através de software. Estes softwares apresentam gráficos, esquemas, ilustrações do sistema, figuras, plantas, fotografias que são incorporados para permitir o melhor tratamento de todas as informações pelo usuário.
 - É interessante que o software forneça todas as informações necessárias para elaboração de relatórios e também mostre de forma clara o estado do sistema de tal forma que qualquer ocorrência seja identificada por alarme.
 - Para facilitar, como mencionado no item anterior, é interessante que cada terminal processe apenas informação necessária para que torne mais prático o controle do sistema. Por exemplo, sistemas elétricos e mecânicos devem ser mostrados em terminais separados devido a grande quantidade de informação de cada um, salvo sistemas pequenos.
 - Devido ao tamanho e a grande complexidade de muitos dos sistemas (instalações) atuais, a melhor forma de se manter o controle e conhecimento de um sistema é a telemetria. Isto porque uma grande base de dados e as novas informações fornecidas pelo sistema serão relacionadas por software. Desta forma uma consulta do histórico do sistema e o seu comportamento atual será mais rápida e eficaz.
-

2.6 - Software

Para todo sistema deve-se especificar um software apropriado. O software consiste de uma base de dados históricos e outra base de dados que será formada a partir das medidas efetuadas.

A referência destes novos dados permitirá que se faça um acompanhamento mais preciso das leituras em locais de difícil acesso e que tradicionalmente têm problemas com leituras que não condizem com o esperado.

O software permitirá consultas e atualizações, através de planilhas e gráficos, por parte dos usuários dos setores técnico/comerciais.

A identificação do equipamento/consumidor deverá ser efetuada por caixa de diálogo, permitindo, desta forma, a localização mais rápida dos dados referentes à consulta.

O software terá a seguinte disposição das telas:

- Tela de controle.
- Mapa ou planta do local/setor.
- Banco de dados com informações relevantes para a companhia/cliente.
- Planilhas e gráficos para tratar as informações.

O software permitirá que os setores técnico/comerciais tenham parâmetros de referência que possam justificar as providências necessárias para o desenvolvimento das atividades (investimentos e alterações como troca de equipamentos, dimensionamento do sistema, incentivos, etc.).

2.7 - Sistemas Modernos de Telemetria

Como um parâmetro destes sistemas recorri a alguns exemplos já comercialmente difundidos e aplicados. Um sistema do qual farei referência é o SCADA da Motorola conhecido como MOSCAD. Este sistema, além de telemetria, abrange outras aplicações, as quais requerem um controle mais complexo e sofisticado. O objetivo deste item é meramente apresentar os sistemas de telemetria modernos que serviram de referência a nossa proposta.

As configurações dos sistemas de aquisição de dados e controle SCADA é semelhante para vários fabricantes.

Particularmente este estudo serviu para se analisar a forma de transmissão de dados de sistemas atuais e mostrar as diferentes formas de comunicação disponíveis. Os sistemas SCADA atuais servem de referência da tendência para a utilização da Tecnologia de Espalhamento Espectral.

2.7.1 - O Sistema SCADA

A família de equipamentos do sistema SCADA inclui uma gama de produtos avançados usados para controle supervisionado, aquisição de dados e sistemas de transferência de dados gerais. O SCADA é um sistema de aquisição de dados e controle composto de hardware e software.

Repare na Fig.(2.1) o diagrama de um sistema MOSCAD-SCADA (SCADA da Motorola). Um sistema deste tipo geralmente compreende vários níveis de controle.

- MCC - Central de controle mestre como um primeiro nível de controle numa central local.
- SCC - Central de controle sub-mestre (opcional) como um segundo nível em centros regionais.
- RTU - Unidade terminal remota. O terceiro e mais baixo nível de controle.

Este sistema de controle multicamada suporta um controle distribuído inteligente onde as camadas de controle mais baixas possuem autonomia para tomar, localmente, a decisão certa. A filosofia diminui significativamente o tempo de resposta estipulada para controle quando comparada com outro sistema inteligente central e favorece a redução da quantidade de dados transferidos através do sistema. Isto ocorre devido ao fato de se fazer o controle localmente (nas camadas mais baixas) sem necessidade de se centralizar o controle pois, as unidades terminais remotas são capacitadas para tomar a decisão.

A RTU é um dispositivo versátil o qual pode agir como uma unidade terminal remota ou dispositivo para aquisição de dados em um local remoto e é capaz de operar como central de controle ou como uma unidade isolada. Estas funções são definidas pelo programador.

O centro de controle consiste de um computador acoplado a uma unidade MOSCAD chamada FIU. As FIU são unidades que ligam o computador de controle central para a rede de comunicação do sistema SCADA.

As RTUs e as FIUs contém de fato a mesma plataforma. (hardware e software básicos e modulares). O programador é responsável pela determinação das funções específicas das unidades MOSCAD. Isto é feito, para cada unidade, através do “carregamento” de uma configuração e aplicação próprias.

A transferência de dados de um sistema SCADA pode usar uma variedade de redes de comunicação simultaneamente: Rádio, linhas telefônicas privativas ou discadas, microondas, *links* de fibra ótica ou redes que combinem as comunicações mencionadas anteriormente.

2.7.2 - Diagrama de um sistema MOSCAD-SCADA

Um sistema simples pode ser constituído de um MCC - Central de Controle Mestre e várias RTUs - Unidades Terminais Remotas comunicado sobre um sistema de radio compartilhado como mostrado na Fig.(2.1). No exemplo a MCC controla algumas RTUs usando rádio.

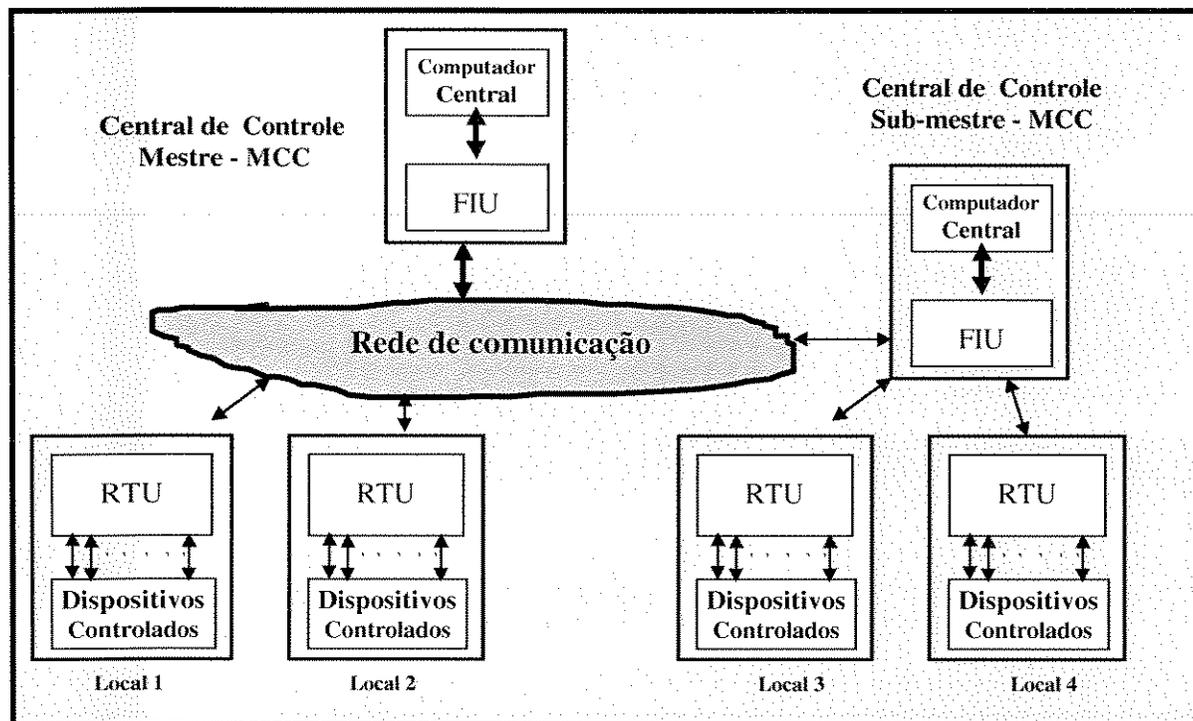


Fig. (2.1) - Diagrama de um sistema MOSCAD-SCADA.

2.7.3 - Conceito de um sistema MOSCAD-SCADA

A segmentação de um sistema SCADA é feita para facilitar uma monitoração remota automática. Isto é necessário para controlar um grande número de locais largamente distribuídos.

Os equipamentos MOSCAD possuem uma plataforma geral que pode ser designada para uma variedade de aplicações. Softwares especiais podem ser desenvolvidos de acordo com a aplicação. Para cada exemplo (Estações de bombeamento d'água, estação de esgoto, irrigação, sistema de controle de redes de comunicações, segurança, monitorização de subestações, automação de distribuição, leitura automática de medidores, etc.) tem-se equipamentos e softwares adequados.

O sistema SCADA possui a capacidade para desenvolver tarefas de um pequeno sistema contendo apenas umas poucas RTUs e uma pequena central de controle, mas também pode ser mais complexo envolvendo muitas RTUs para controlar milhares de pontos.

Para a aplicação, por exemplo, em um município que requeira um sistema SCADA para sua rede de distribuição de água é necessário o preparo de cada item que irá integrar todas as aplicações deste sistema de água de esgoto e algumas transferências de dados gerais. Esta solução integrada é possível devido ao desenvolvimento do hardware e software MOSCAD de forma modular.

O nível de controle mais alto no sistema SCADA é feito pela Central de Controle Mestre – MCC, a qual supervisiona as tarefas do sistema e armazena as configurações do sistema e da rede.

O nível de controle intermediário entre as RTUs e a MCC é feito pelas Centrais de Controle Sub-mestre – SCC e é encontrado em grandes sistemas SCADA com grande número de RTUs.

Unidades Terminais Remotas - RTUs atuam como controladores inteligentes locais conectados a sensores, chaves de controle e vários outros dispositivos de dados no ambiente controlado. A RTU é usualmente uma unidade MOSCAD solitária propriamente configurada com módulos entrada/saída.

Em um grande ambiente, algumas RTUs-MOSCAD podem ser acopladas junto para formar uma grande RTU capaz de comunicar por meio de um único rádio compartilhado por todas as RTUs.. A RTU-MOSCAD pode ser montada de tal forma que sirva para controlar e supervisionar remotamente pequenas e médias tarefas sem reporta-las para uma central.

A RTU, como será visto na Fig.(2.3), é programada no campo por meio de um dispositivo programador que pode ser conectado a RTU, ou com o cabo local ou ainda remotamente através de alguma RTU próxima. Esta programação pode ser feita localmente ou remotamente através da central de controle.

A rede “nuvem“ mostrada na Fig.(2.2) trata-se do meio de comunicação entre os equipamentos MOSCAD. A RTU-MOSCAD e a FIU possuem rádios bidirecionais ou interfaces opcionais para fio, fibra ótica, ou link de microondas [10].

Os vários tipos de transmissão por rádio frequência suportados pelas unidades MOSCAD incluem:

- Convencional VHF/UHF/800/900 MHz FM, FSK modulado.
- Convencional VHF/UHF/800 MHz rádio c/ modulação direta FM.
- Convencional VHF/UHF/800/900MHz rádio com modulação DPSK.
- VHF/UHF/800/900 MHz Radio trunking.
- 900MHz Radio de dados (MAS-Multiple Address System).

Pode-se ter como comunicação desde o padrão de interface para link de dados RS-232, interface LAN tipo RS-485, para linha ponto a ponto, multiponto ou modem para comunicação de dados. A Tab.(2.2) dá uma referência de vários tipos de link possíveis.

Com o objetivo de tornar a comunicação mais confiável, para cada tipo de link de comunicação, tanto a RTU-MOSCAD quanto a FIU possuem MDLC - link de Comunicação de Dados Motorola incorporados, o qual usa um protocolo de rede altamente sofisticado baseado na Interconexão de Sistema Aberto (OSI). Sete camadas modelo são definidas pela Organização Internacional para Padronização (ISO).

O protocolo MDLC é garantia de gerenciamento de rede eficiente e no qual a rede é uma parte integral e totalmente suportada pelo sistema SCADA. O fato de se ter um projeto

OSI assegura e garante uma futura compatibilidade e facilidade de integração com outros sistemas.

Tabela 2.2 – Tipos de links e disponibilidade .

Tipo de link	Disponibilidade
Link de radio	Rádio convencional
	Rádio de dados DARCOM 9000
	Rádio de dados DARCOM 9000 c/ modem RS-232
	Rádio trunking
Link de modem	Modem dial-up
	Fio direto ou conexão por fibra
Link de dados serial	RS-232
	LAN usando RS-485

2.7.4 - A comunicação entre RTUs

Um conceito correto de operação do sistema requer aumento da “inteligência” para locais remotos. Neste caso, então passa a existir a necessidade de links entre RTUs, os quais fazem comunicação por pares de RTUs.

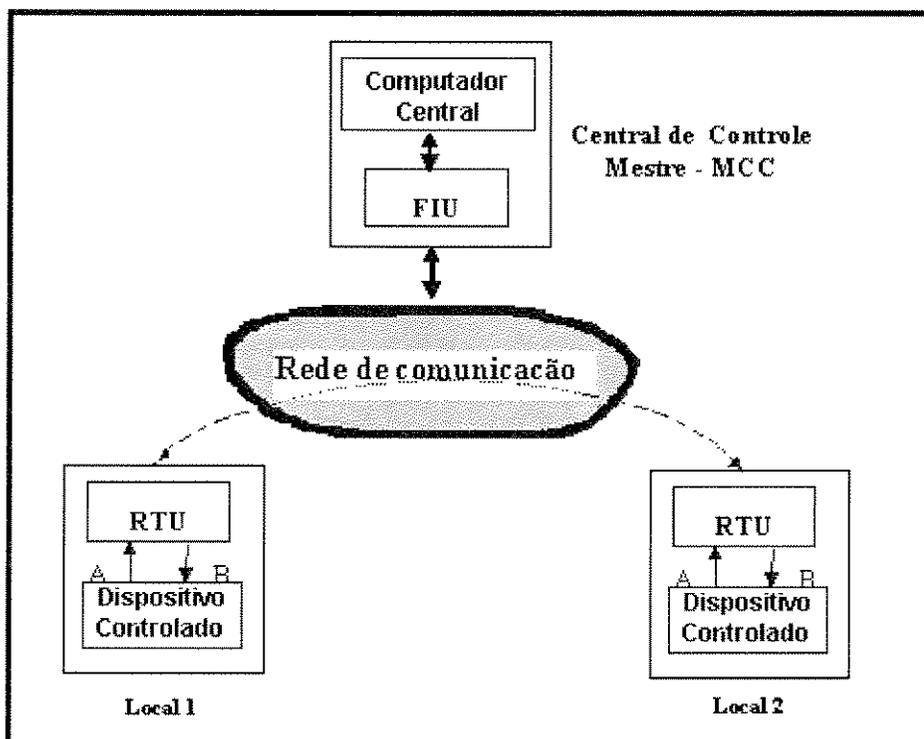


Fig.(2.2) - A comunicação entre RTUs

Esta configuração pode ser necessária em aplicações onde o processo requiera dados de outros pontos para tomar a própria decisão de controle.

Na Fig.(2.2) nota-se a transferência de informações entre os locais 1 e 2 sem que seja necessário uma central de controle.

2.7.5 - Programando o sistema

O programador MOSCAD é um dispositivo com programas de computador que rodam em PC compatível com IBM permitindo que o usuário defina e mantenha o sistema MOSCAD de acordo com o requerimento do sistema especificado. Entre a unidade MOSCAD e a porta serial RS-232 existe um cabo com terminal adaptador para conectá-los.

A Fig.(2.3) mostra o conceito de programação MOSCAD. Os vários ciclos descrevem as camadas do sistema MOSCAD. A figura mostra diferentes meios para acessar e/ou modificar cada uma das camadas usando o programador. Isto pode ser feito localmente ou remotamente como mostra a figura.

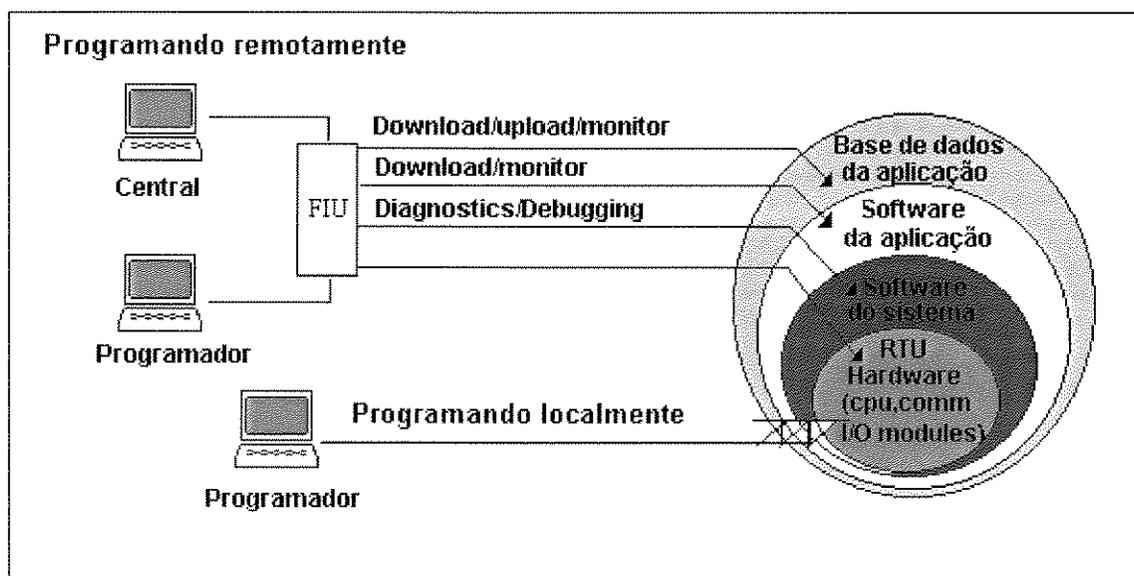


Fig.(2.3) – Programação do sistema.

2.7.6 - Centrais de Controle

➤ Central de Controle Mestre (MCC)

O MCC é o nível de controle mais alto no sistema SCADA. A configuração mínima para o MCC consiste de um computador de mesa e a FIU.

Centrais de controle maiores podem incluir várias estações de trabalho se intercomunicando por meio de uma LAN (Local Area Network).

Aplicações que requeiram processamento de informações complexo podem ser desenvolvidas no Sistema de Gerenciamento de Informações (MIS) de um computador mainframe e interfaceadas para o computador da central de controle mestre.

➤ **Central de Controle Sub-mestre (SCC)**

A SCC é um nível intermediário encontrado em grandes sistemas SCADA. A SCC usualmente consiste de uma FIU (dispositivo usado para fazer a ligação entre ao computador e a rede) conectada a um PC. A Central de Controle Sub-mestre recebe as informações de todas RTUs locais e faz um processamento local que depois será centralizado através da Central de Controle Mestre.

2.8 - Conclusões

Na década de 1980 os fabricantes de equipamentos começaram a instalar microprocessadores no painel dos equipamentos. Isto permitiu a comunicação para uma central dedicada de monitoração. Não foi definido um padrão e cada fabricante usava sua própria comunicação. No caso, para cada tipo de equipamento era requerida uma central de monitoração separada. Desta forma não se podia processar informações de equipamentos diferentes em uma única central. Existia uma incompatibilidade entre os sistemas.

Os fabricantes começaram a adaptar seus sistemas de monitoração para aceitar pontos genéricos analógicos e digitais. Transdutores foram usados para converter temperaturas, voltagens e correntes em variáveis elétricas apropriadas para a aquisição. Muitos tipos de sistemas podiam comunicar apenas com unidades e módulos coletores de dados do mesmo fabricante. Logo, para monitorar equipamentos de outros fabricantes os transdutores tinham que ser instalados.

Nos últimos anos tivemos uma grande evolução do hardware e do software empregado para sistemas de telemetria. A própria evolução dos equipamentos propiciou que tivéssemos uma melhor aquisição de dados pois estes dispositivos já apresentam sinais “digitalizados” através de interfaces próprias.

Dentre as várias formas de comunicação disponíveis para fazer o link entre as RTU- Unidades Terminais Remotas e as centrais de controle, a tecnologia de espalhamento espectral é uma opção.

Uma das constatações dos meus estudos junto a empresas que desenvolvem serviços usando o sistema SCADA é que o tipo de transmissão sem fio que desponta como uma melhor opção, devido as suas características, é o por espalhamento espectral - *Spread Spectrum*. Empresas como Motorola, Unitec e várias outras possuem publicações são referências desta tendência. Como uma boa referência sugiro consultas ao material das seguintes companhias:

A) California Microwave Data System, SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*), *Telemetry Systems, Oil/Gas Fields and Pipelines, Traffic Monitoring, Distribution Automation, Multiple Address Communications, Railroad Communications Systems* [16].

B) Unitec International Controls Corp. SCADA Systems [22].

As vantagens do sistema usando SS serão melhor identificadas a partir do momento que se tome conhecimento das características peculiares desta tecnologia, o que será feito no próximo capítulo.

Como foi visto anteriormente existem diversas etapas para o desenvolvimento de um sistema de telemetria. A configuração do sistema dependerá do tipo de aplicação. Este estudo abordará no último capítulo um exemplo de sistema de telemetria para hidrômetros. O conceito básico de um sistema, ou seja, aquisição, transmissão, recepção, operação e processamento dos dados se mantém.

CAPÍTULO 3 - A tecnologia Spread Spectrum

3.1 - O que é Spread Spectrum ?

Impulsionada por necessidades militares, uma alta tecnologia no campo das comunicações foi desenvolvida. Nas comunicações militares, é muito importante que o inimigo não intercepte as conversações dos adversários. Por outro lado, é importante também que as transmissões de mensagens e informações não sejam anuladas pelo inimigo.

Transmissões convencionais podem ser facilmente bloqueadas, simplesmente saturando os receptores. Isto é feito colocando-se no ar portadoras com potências maiores que as das portadoras transmitidas.

Justamente para resolver esses problemas de interceptação e bloqueio de comunicações, foi desenvolvida uma técnica avançada de transmissão denominada *Spread Spectrum* - **SS**, a qual poderia ser traduzida por **Espectro Espalhado**.

Nas transmissões por **SS**, o sinal de rádio é espalhado no espectro de frequência, ou seja, o sinal passa a ser transmitido numa banda mais larga.

Para espalhar no espectro o sinal de rádio, utiliza-se na fase de transmissão um código pseudo-aleatório. E, para recuperar esse mesmo sinal espalhado, usa-se na fase de recepção o mesmo código utilizado na transmissão.

Uma forma simples de entender como funciona o **SS** é fazer a seguinte comparação simbólica:

Imagine uma concentração de energia (portadora) em um tubo de ensaio. Divida essa energia em várias partes, colocadas lado a lado em tubos de ensaio menores (isto seria o espectro espalhado). Para ser recuperada a energia inicial, despeje o conteúdo de cada tubinho no tubo principal.

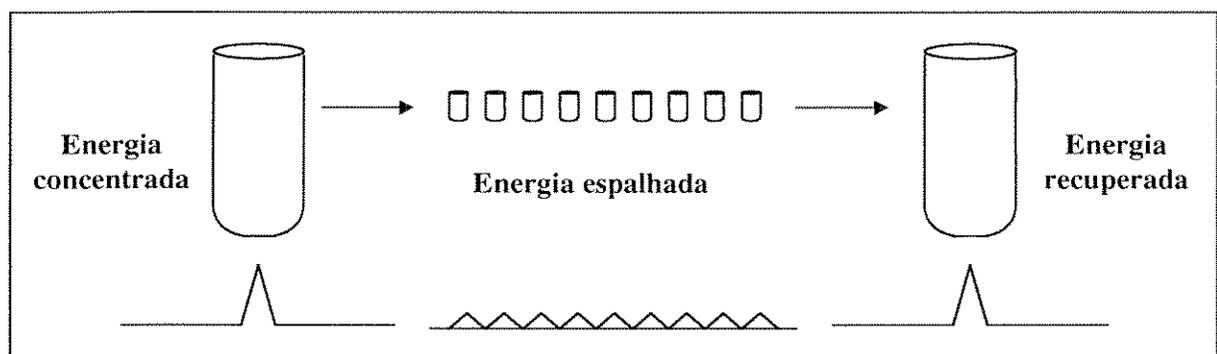


Fig.(3.1) – Espalhamento da energia.

3.2 - Vantagens com a utilização do Spread Spectrum

A utilização do Spread Spectrum propicia uma série de vantagens quando o comparamos com as formas tradicionais de transmissão [2]. O sinal tem as seguintes características:

➤ **Alta resolução devido a faixa espectral utilizada**

Ao se espalhar um sinal aumenta-se a faixa espectral utilizada, ou seja, faz-se com que um sinal que antes tinha uma única frequência de transmissão tenha várias. Esta ocupação de uma faixa espectral mais larga faz com que se tenha um aumento de resolução.

➤ **Potência espectral de baixa densidade**

A tecnologia SS além de aumentar a resolução de um sinal espalhando-o, também usa baixas potências de transmissão. Ao se transmitir com potências menores o sinal dificilmente causa interferências em outros sistemas.

➤ **Maior duração das baterias e menor impacto ambiental**

Grandes problemas operacionais são evitados com o uso do SS. Ao se transmitir com baixas potências o consumo das baterias é bastante reduzido e a sua durabilidade torna-se muito maior, portanto menos baterias serão necessárias. Isto é para diminuir o impacto ambiental causado pelas baterias.

➤ **Melhora a rejeição à interferência**

A possibilidade de que um sinal com uma faixa de frequência estreita sofra interferência é muito maior do que se ele estiver espalhado. O espalhamento do espectro de um sinal possibilita que sua rejeição à interferência seja muito melhor, pois a faixa de frequência é mais larga, contudo uma interferência em toda ou grande parte da faixa ocupada por um sinal espalhado poderia interferir neste sinal. Em breve será mostrado como o fator largura de banda (W) favorece a melhoria da rejeição à interferência.

➤ **Capacidade anti-jamming (interferência gerada)**

Interferências geradas intencionalmente têm grande e fácil sucesso quando se quer bloquear uma transmissão convencional. Para interferir basta identificar a frequência de transmissão e transmitir um sinal mais forte.

No caso do SS isto é muito mais difícil de ocorrer devido ao fato de o sinal estar espalhado, ser codificado e, dependendo da técnica de SS utilizada, *Frequency Hopping* por exemplo, poder trocar de faixa frequentemente através de um código pseudo-aleatório.

A própria origem do SS, comunicação militar, demonstra o grau de proteção inerente à este tipo de sinal.

➤ **Comunicação segura:**

A comunicação torna-se mais segura a partir do momento que a possibilidade de interferências no sistema é evitada. Mas não basta o fato de ninguém interferir no seu sistema; é importante também que as informações nele contidas estejam seguras e não possam ser recebidas por terceiros.

Os celulares convencionais são um exemplo de quão vulnerável pode ser um sistema. Pode-se ouvir as conversações com extrema facilidade através de um rádio que receba a mesma faixa de frequência da transmissão dos celulares.

➤ **É aplicável no sistema CDMA (*Code Division Multiple Access*)**

Um novo sistema de telefonia celular digital chamado CDMA utiliza o Spread Spectrum como técnica de transmissão. As características do SS permitiram que se tivesse inúmeras vantagens em relação a telefonia celular convencional. O CDMA tem sido uma grande fonte de informações do desempenho do SS devido ao fato de ser até então o sistema com a sua maior aplicação. O CDMA é também conhecido como *Direct Sequence Spread Spectrum* - DSSS.

Dentre as grandes vantagens apresentadas estão:

◆ **A qualidade da conversação:**

A técnica de modulação utilizada DSSS possui um esquema de codificação único que praticamente elimina as linhas cruzadas e reduz dramaticamente o impacto das interferências de outras fontes. A qualidade do CDMA é equivalente à de uma chamada por fio.

◆ **A sua cobertura e capacidade:**

O CDMA atende um número muito maior de usuários e requer menos ERBs (Estação Rádio Base) reduzindo custos iniciais de instalação e operação (infra-estrutura, imóveis, direitos de passagem ou de localização). O sistema atende mais usuários devido a sua técnica de transmissão por espalhamento espectral. Este acréscimo pode variar de 6 a 18 vezes o número de usuários se comparado com o sistemas AMPS - *Advanced Mobile Phone System*) [9].

O CDMA é transmitido em frequências muito baixas e por isto não interfere em outros sistemas. Ao se transmitir usando uma potência menor tem-se outras vantagens diretas como a diminuição do consumo dos aparelhos, o aumento da duração das baterias e diminuição do impacto ambiental. O consumo típico de um aparelho telefônico CDMA é de apenas 2 miliwatts (mW), significativamente menor que os 125mW dos aparelhos GSM - *Global System for Mobile Communication*), por exemplo. Assim, nos aparelhos CDMA, as baterias podem permitir até cinco horas de conversação contínua ou três dias em *standby*.

◆ **Crescimento da capacidade e eficiência espectral para aplicações em sistemas de comunicação celular móvel**

Apesar de transmitir em baixas potências, a grande resolução do sinal e a sua codificação tornam possível um alcance do sinal superior ao de sistemas convencionais. Isto possibilita um aumento da área de cobertura. A faixa de transmissão do sinal é utilizada por um número de usuários do sistema bastante superior devido ao reuso de canais.

◆ **Pequena degradação da performance quando aumenta o número de usuários simultâneos de um canal**

O aumento do número de usuários simultâneos de um canal aumenta bastante. Enquanto que no sistema convencional tem-se o número de usuários limitado diretamente pelo número de canais, no CDMA vários usuários utilizam um mesmo canal. Existem estudos que mostram uma variação deste acréscimo entre 6 e 18 vezes. E apesar deste acréscimo a qualidade do sinal se mantém [9].

◆ **Baixo custo de implementação**

O crescimento da área de cobertura do sinal e também do número de usuários faz com que o custo de implementação de um sistema SS seja menor que um sistema convencional sem fio. Para uma grande área se terá uma menor quantidade de equipamentos retransmissores e mais pontos de transmissão sendo atendidos.

◆ **Circuitos integrados apropriados disponíveis**

Já existe no mercado uma grande quantidade de circuitos integrados disponíveis de vários fabricantes (RF Microdevices, Sirius, Qualcomm, etc.). A tendência atual é termos em pouco tempo um aumento do número de componentes e ainda uma redução do preço final.

◆ **Outras características**

O resultado prático com a utilização da técnica de transmissão SS é a *segurança* que se obtém na transmissão. Isto porque, espalhando-se no espectro, o sinal de rádio praticamente desaparece e se confunde com o ruído.

Como resultado, obtém-se um sinal com as seguintes características:

- sinal extremamente difícil de ser detectado;
 - sinal que dificilmente interfere em outros sistemas;
 - sinal que pode transmitir altas taxas de dados.(As taxas de transmissão variam de 1200 Bauds a 2Mb/s).
-

3.3 - Teorema de Claude Shannon

Quando se expande a largura da banda para vários megahertz e até centenas de megahertz, consegue-se banda mais que o suficiente para transportar os dados requeridos e para agir contra os efeitos do ruído.

Esta baixa probabilidade de interceptação ou alta capacidade *anti-jamming* se explica devido ao fato de se ter uma banda ou faixa de frequência muito mais larga que o necessário para transmissão do sinal.

$$C = W * \log \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (3.1)$$

Onde: C = Capacidade do canal em bits por segundo

W = Largura da banda em Hz

S = Potência do sinal

N = Potência do ruído

O aumento da banda torna-se aparente. Desta equação vê-se claramente que o fator relevante para o resultado é o espalhamento espectral. Pode-se se ter até ruído maior que o sinal!

Em transmissões convencionais (sem espalhamento) quando se deseja obter uma capacidade de transmissão maior o procedimento convencional é aumentar a potência do sinal. Esta é uma hipótese; a outra seria ter um ruído menor. Como o controle do ruído não é possível e nem sempre se pode e deve aumentar a potência do sinal, o espalhamento da banda de uma mesma razão de dados torna-se uma boa solução para este problema.

O ganho de processamento que se tem ao espalhar o espectro é definido como a razão entre as bandas do sinal espalhado (B_s) e do sinal não espalhado (B_u).

$$G_p = \frac{B_s}{B_u} \quad (3.2)$$

Ou analogamente, outra fórmula que representa o ganho alcançado é a que expressa a razão entre as relações sinal ruído do sinal de saída (SNR_{output}) e de entrada (SNR_{input}).

$$G_p = \frac{SNR_{output}}{SNR_{input}} \text{ dB} \quad (3.3)$$

3.4 - Correlação

Os sinais SS são demodulados em 2 passos:

1. Remove-se a modulação do espectro espalhado (Direct Sequence ou Frequency Hopping);
2. O sinal é demodulado.

O processo usado para reconstituição do sinal na recepção é chamado de correlação. O sinal é recuperado quando a sincronização própria do código espalhado (transmitido) entre o transmissor e o receptor é alcançada. A *correlação* consiste em retirar, de dentro da banda de frequência utilizada, somente o sinal que foi codificado na fase de transmissão. A *correlação* tem também a propriedade de fazer com que todos os outros sinais de rádio (não desejáveis) se reduzam a ruído.

A sincronização é o aspecto mais difícil para o receptor. O problema da aquisição é quebrado em duas partes: Aquisição inicial e *tracking*.

Tem-se investido muito mais tempo, recursos, esforços e dinheiro no desenvolvimento e aperfeiçoamento das técnicas de sincronização do que em qualquer outra área do SS.

Existem vários métodos para solucionar o problema de sincronização. Alguns destes métodos requerem a implementação de grande parte dos componentes discretos. Mas talvez a maior mudança entretanto tenha sido o uso de processamento digital de sinais (DSP) e circuitos integrados de aplicação específica (ASIC).

DSPs têm produzido funções matemáticas de alta velocidade que podem ser repartidos em pequenas partes e analisar o sinal SS para sincronizá-lo e descorrelacioná-lo. Chips ASIC têm seus custos diminuídos através do uso da tecnologia VLSI e criação de blocos de construção genéricos, os quais podem ser usados em algum tipo de aplicação desejada. A disseminação do SS tornará mais comum o uso e desenvolvimento deste tipo de componente.

Com o rápido crescimento do mercado de sistemas de comunicação pessoais *Spread Spectrum*, alguns fabricantes têm projetado e vendido chips ASIC que solucionam o mais difícil problema do SS: a correlação.

3.5 - Aplicações comerciais

A partir de 1980, esta técnica passou a ser difundida para aplicações práticas em áreas não militares. Hoje, a legislação brasileira permite o seu uso em três bandas diferentes (902-908 MHz, 2400-2483,5 MHz, 5725-5850 MHz), sem necessidade de licença, desde que a potência utilizada não ultrapasse 1 W para antena com até 6 dB de ganho.

Produtos para transmissão de voz e dados já são fornecidos por empresas diversas.

Como exemplo de produtos já utilizados temos:

- Sistema de telefonia celular digital.
- Modems.
- Rádios.
- Telefones sem fio com base fixa.
- Redes para microcomputadores.
- Sistema de segurança, etc..

3.6 - Técnicas utilizadas em Spread Spectrum

Dentre as várias técnicas de espalhamento espectral duas se destacaram como as mais utilizadas: a Direct Sequence e a Frequency Hopping. Estas duas técnicas têm sido combinadas para se aproveitar as características de cada uma delas. Esta combinação deu origem às chamadas técnicas híbridas.

As particularidades de cada tipo de técnica definem a sua aplicabilidade.

3.6.1 - Direct Sequence

A técnica chamada Direct Sequence - DS, também conhecida como Direct Spread ou Pseudonoise Spread Spectrum, usa uma seqüência de códigos para modular a portadora (ou uma portadora modulada). As modulações do tipo AM e FM poderiam ser utilizadas, contudo, a modulação largamente utilizada é do tipo BPSK (*Binary Phase-Shift-Keying*)

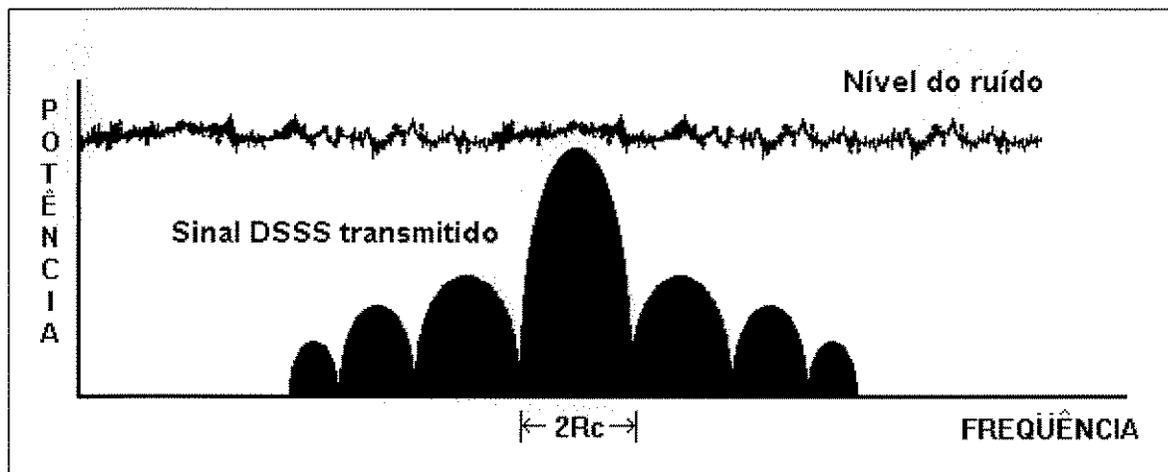


Fig.(3.2) – Sinal DSSS transmitido.

As figuras Fig.(3.3) e (3.4) mostram um modelo simplificado do sistema DS/SS.

Note que o sinal de informação $M(t)$ e a seqüência de espalhamento $C(t)$ são combinadas antes da modulação da fase da portadora $P(t)$. Isto é conveniente para propósitos de modulação digital [1].

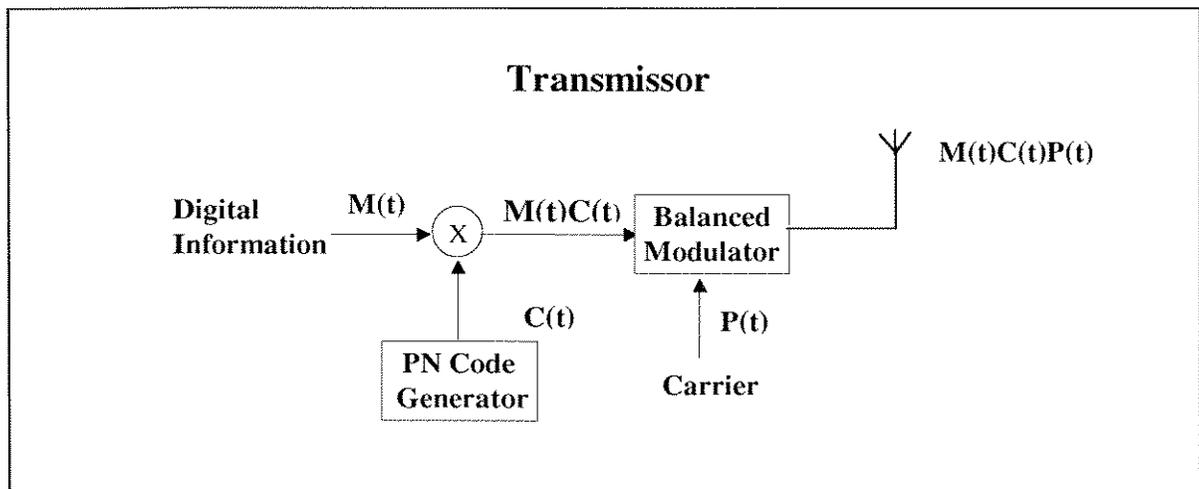


Fig.(3.3) – Transmissor.

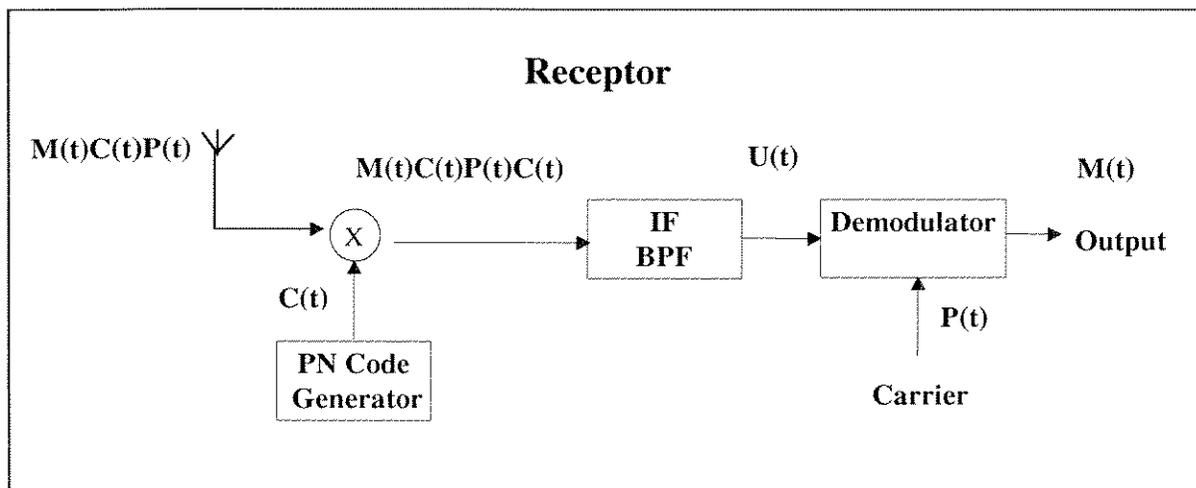


Fig.(3.4) – Receptor.

A seqüência de códigos binários pseudo-aleatória $C(t)$ tem uma razão compartilhada R_c muito maior que a razão de bit da informação R_b . Ou seja, o código gerado ocupa uma faixa com uma razão R_c muito maior que a informação.

A Fig.(3.5) mostra isto, o espectro usado para espalhar o código é muito maior que o necessário para o sinal, ou seja, $R_c \gg R_b$.

A banda do sinal espalhado B_s é dada por:

$$B_s = 2 \left(\frac{1}{T_c} \right) = R_c \quad (3.4)$$

A banda do sinal sem espalhamento B_u é dada por:

$$B_u = \frac{1}{T_b} = R_b \tag{3.5}$$

Logo, para uma *chip rate* (R_c) muito mais larga que a razão de bit por informação R_b temos um ganho de processamento muito maior, assim como pode-se constatar na fórmula abaixo.

$$G_p = \frac{B_s}{B_u} = \frac{2T_b}{T_c} = \frac{R_c}{R_b} \tag{3.6}$$

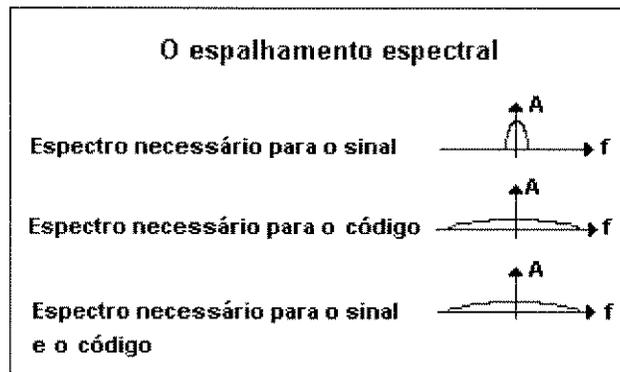


Fig.(3.5) - O espalhamento espectral.

A multiplicação de $C(t)$ com o sinal da informação resulta em um espectro de frequência com a banda aproximadamente igual ao do espectro da seqüência. O sinal resultante é então modulado em uma portadora e transmitido.

No receptor uma réplica exata da seqüência de dados pseudo-aleatória é usada em sincronismo com o transmissor para recuperar o sinal recebido.

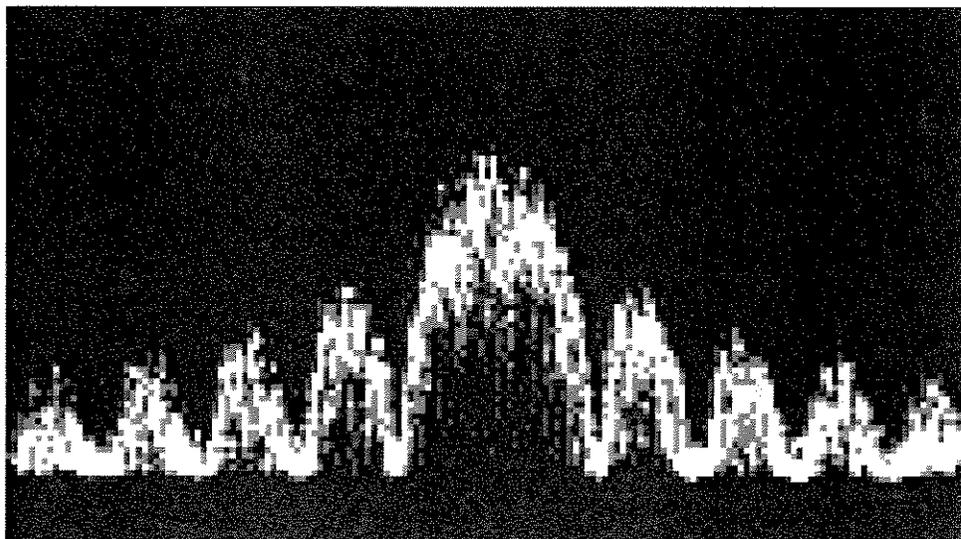


Fig.(3.6) – Imagem de um sinal DSSS retirada de um analisador de espectro.

Veja na Fig.(3.6) como é o sinal visto num analisador de espectro. Repare que a maior parte da energia esta concentrada no primeiro lóbulo entre os dois pontos nulos. Na verdade para DS a energia não é tão espalhada assim pois existe esta maior concentração.

3.6.2 - Frequency Hopping

Para sistemas DS o espalhamento da banda de transmissão aparece de uma forma contínua quando a seqüência de código pseudo aleatória - PN é combinada com a informação para modular a portadora.

A performance dos sistemas SS depende do ganho de processamento, o qual, em contrapartida, depende da razão de compartilhamento (*chip rate*) da seqüência PN. A geração de códigos PN depende de tecnologia apropriada para gerar altas *chip rates*. Isto, no entanto é um sério contratempo, impondo limitações práticas para se ter um melhor ganho de processamento.

Uma alternativa é o Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS). Esta técnica de espalhamento da banda de transmissão aparenta uma forma particular. Isto é alcançado fazendo a portadora saltar de uma freqüência para outra numa seqüência ditada pelo código pseudo aleatório.

O ganho de processamento para o FHSS é definido pelo número de canais de freqüências disponíveis. Portanto:

$$G_p = N \quad (3.7)$$

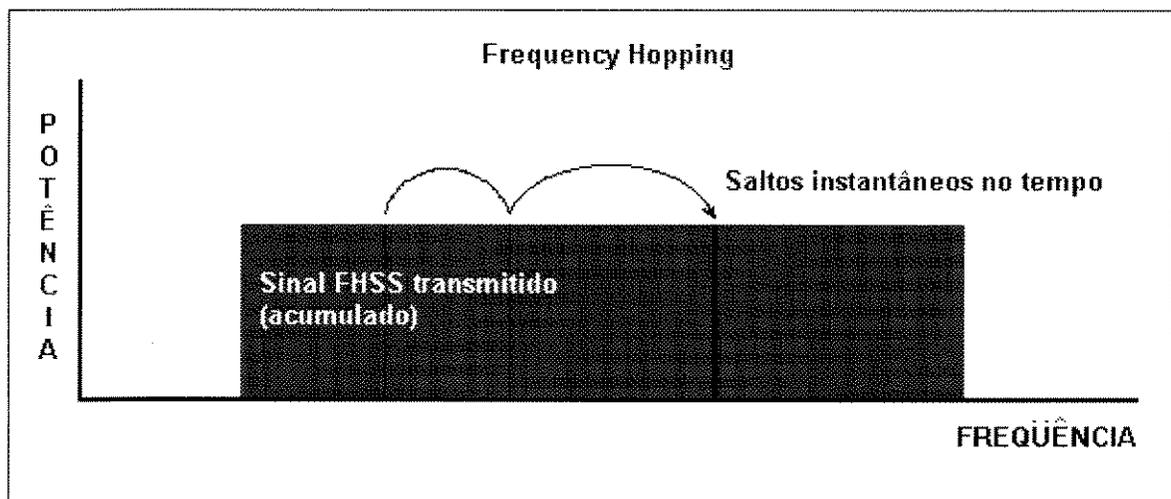


Fig.(3.7) – Frequency Hopping (FH).

A figura acima mostra como idealmente se comporta o FH. Na prática, entretanto, o processo de salto gera freqüências espúrias causando interferência intercanal.

No receptor o sinal transmitido é misturado com a réplica síncrona da seqüência do transmissor gerada localmente, compensado por uma freqüência intermediária F_{if} . Sinais diferentes da réplica local são espalhados pela multiplicação e rejeitados como ruído.

Uma modulação usual para sistemas FH é *M-ary Frequency-shift keying* (MFSK) e esta combinação é conhecida com FH/MFSK [1].

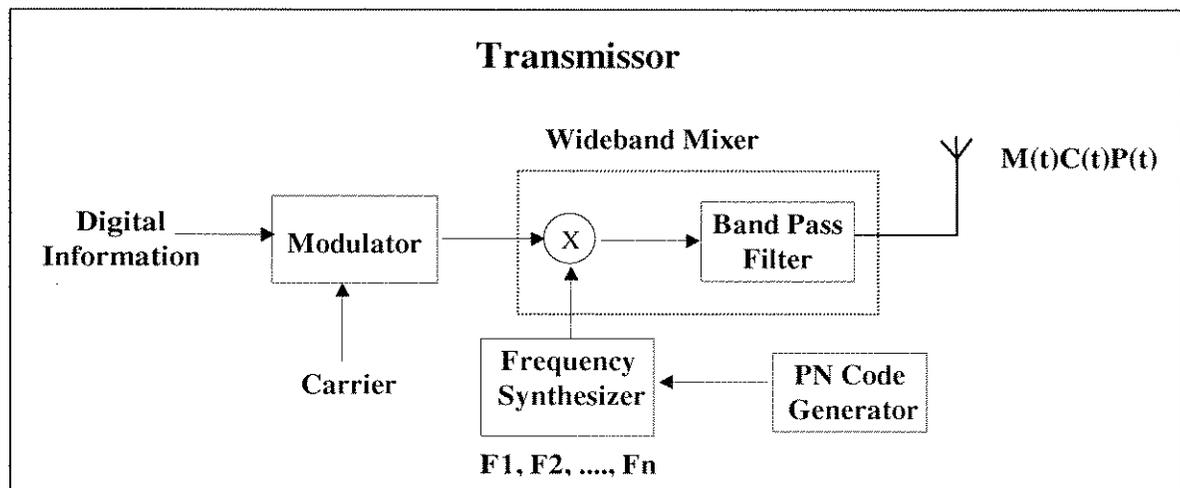


Fig.(3.8) – Transmissor.

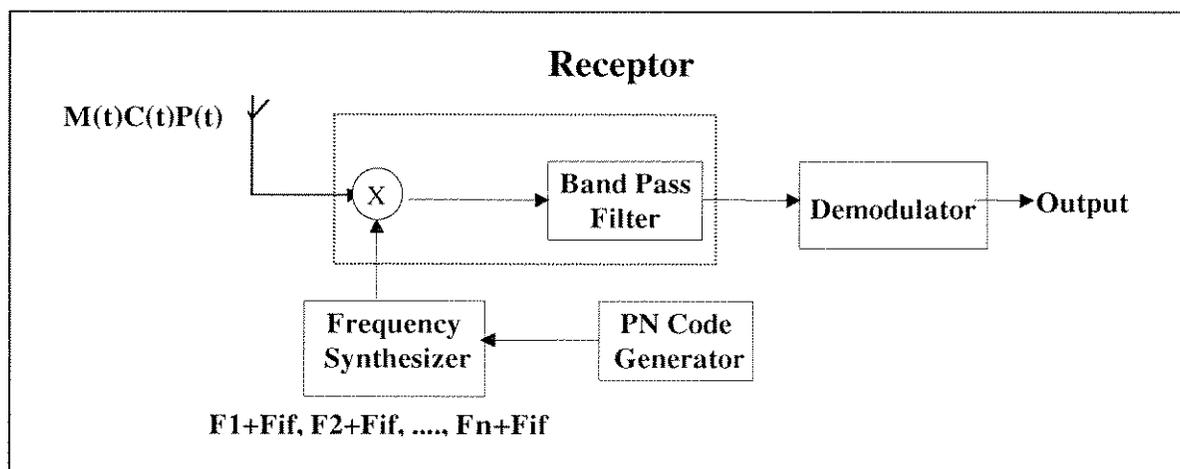


Fig.(3.9) – Receptor.

Na demodulação, devido a mudança de freqüência, é extremamente difícil manter as relações de fase entre os “degraus”.

Existem dois tipos de FH:

Slow FH: Tem a característica de transmitir vários símbolos de informação em cada salto de freqüência.

Fast FH: Durante a transmissão de um símbolo ocorrem vários saltos de freqüência.

A figura Fig.(3.10) mostra como o FHSS é visto em um analisador de espectro

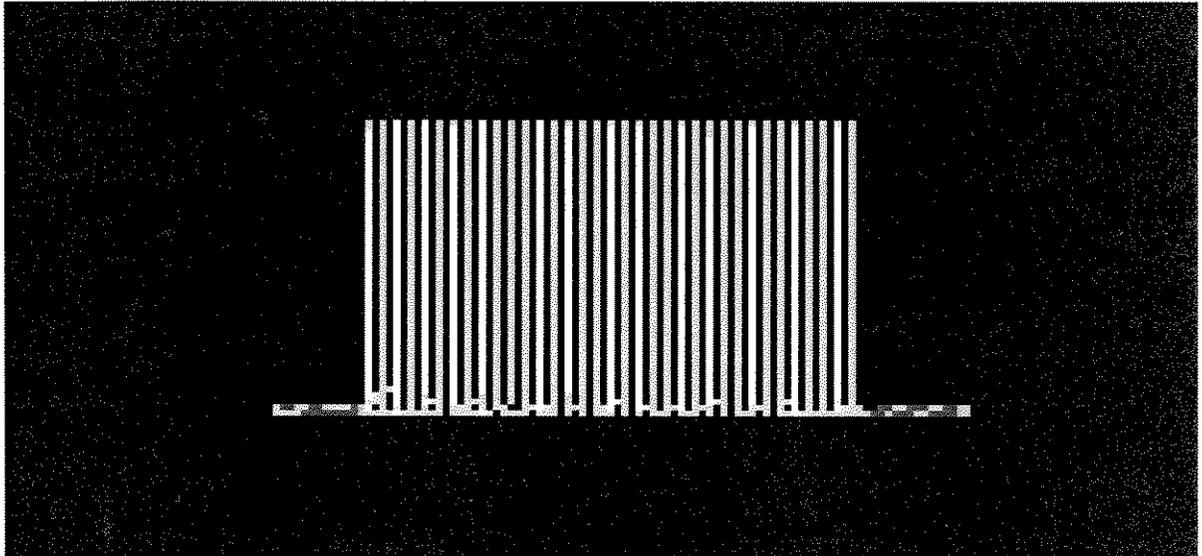


Fig.(3.10) – Imagem de um sinal FHSS retirada de um analisador de espectro.

Para aplicações em comunicação móvel, quando se deseja evitar as interferências entre os saltos de frequência, é interessante usar o FH rápido.

Esta técnica, como veremos na comparação que se seguirá, tem sido preferida para algumas aplicações militares. Devido às particularidades apresentadas tanto pela técnica FH quanto pela DS, foram desenvolvidas, como veremos a seguir, técnicas híbridas a partir da combinação de ambas.

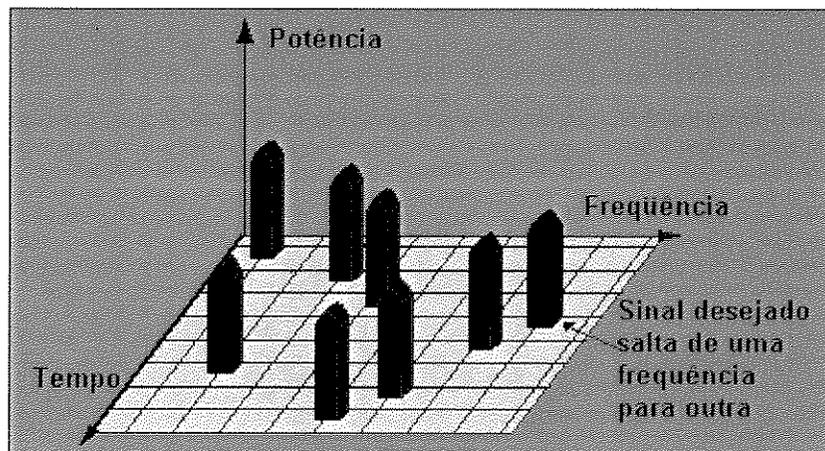


Fig.(3.11) – Saltos do sinal FHSS.

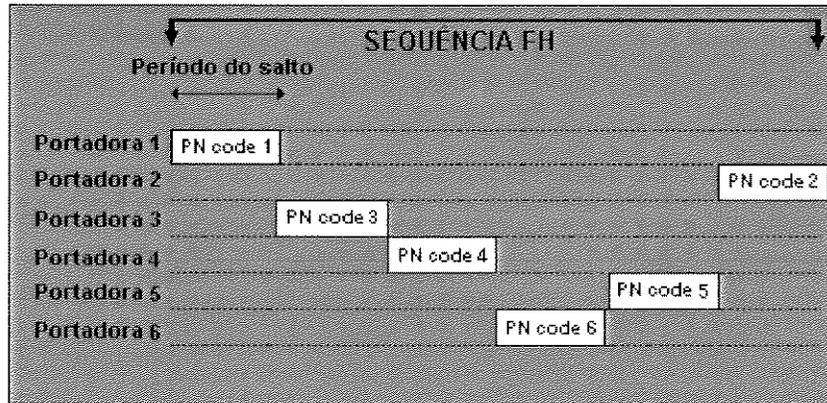


Fig.(3.12) – Seqüência FH.

3.6.3. - Técnicas híbridas

Existem várias técnicas híbridas que, em síntese, são combinações das duas principais (DS e FH). Fazendo-se o controle do tempo de transmissão consegue-se outras variações.

As técnicas híbridas são mais complexas e difíceis de implementar, mas podem ser usadas para solucionar problemas críticos ou situações peculiares onde se necessita de um sinal específico.

➤ **Time Hopping (TH):** É a modulação pulsada. A seqüência do código fica trocando entre as posições de transmissão *On* ou *OFF*. Como a seqüência do código é aleatória o tempo em que a transmissão estará *On* e *OFF* também será aleatório.

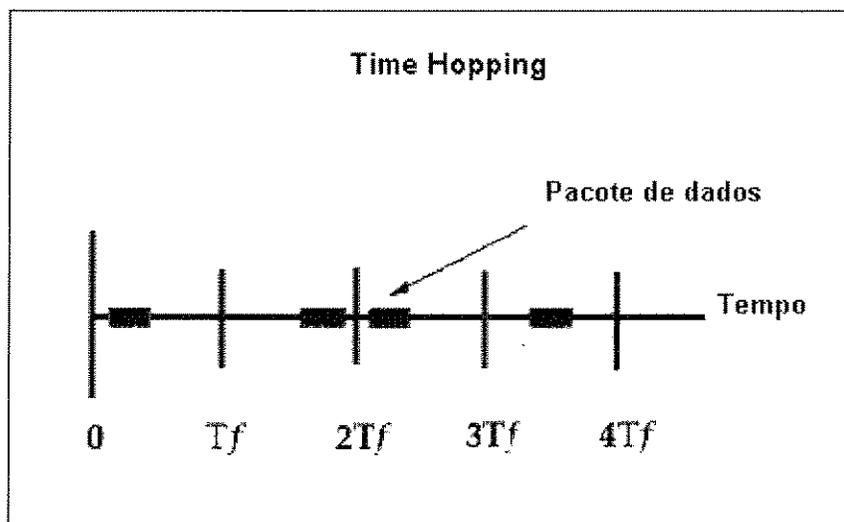


Fig.(3.13) – Time Hopping (TH).

➤ **Pulsed FM:** A portadora varia sobre uma banda larga em algum caminho conhecido durante o período do pulso. Esta técnica não precisa necessariamente de

codificação. É bom lembrar que o sinal FM por si só também é um tipo de espalhamento espectral.

➤ **DS and FH:** Esta técnica combina as vantagens do sinal modulado por Direct Sequence com a Técnica Frequency Hopping. Neste caso, tem-se uma frequência central saltando periodicamente

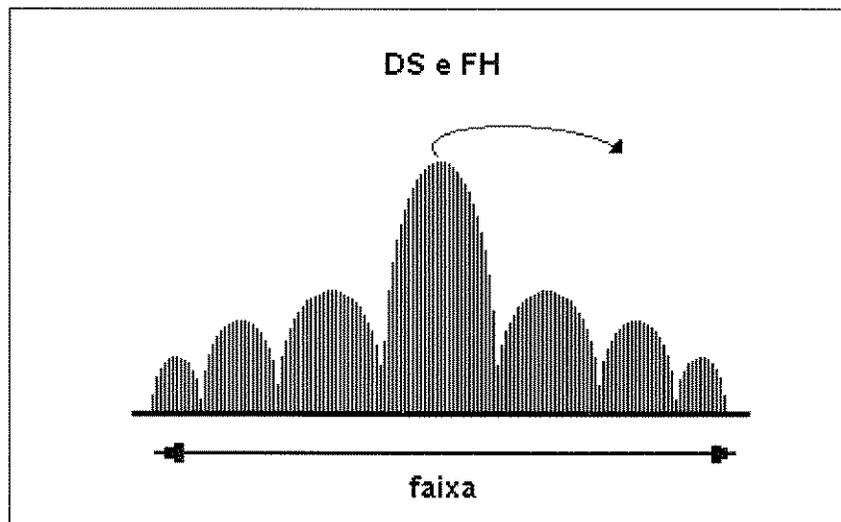


Fig.(3.14) – DS e FH.

➤ **Time and FH:** Quando FH sozinho não basta para combater a interferência, então a técnica Time Hopping é também recomendável. Esta combinação é principalmente usada para problemas no qual os sinais fortes irão interferir nos fracos (*near-far*). Logo, tem-se saltos em uma faixa de frequência durante períodos de tempo preestabelecidos. Isto torna a transmissão ainda mais segura .

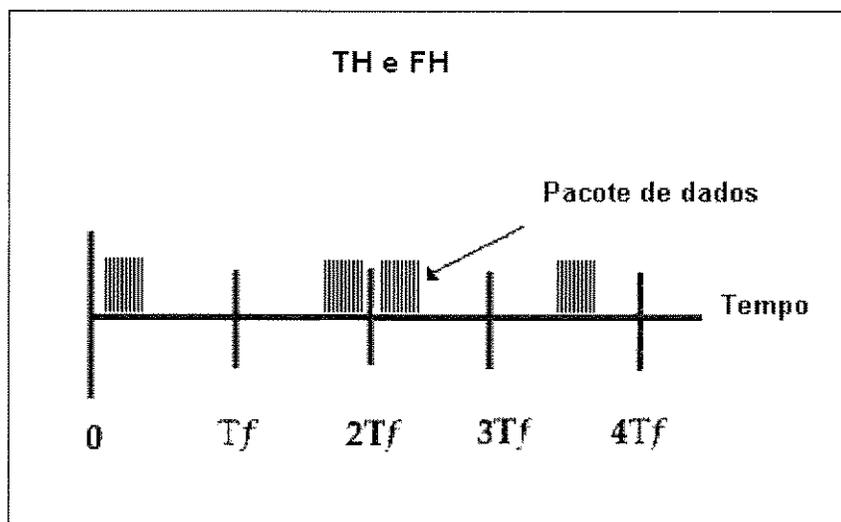


Fig.(3.15) – TH e FH.

➤ **TH and DS:** Quando a técnica Direct Sequence sozinha não basta para melhorar capacidade de acomodar usuários em sistemas CDMA, a Time Hopping torna-se um eficiente meio para ajudar no controle de tráfego.

Este sistema permite colocar usuários do sistema DS dentro de um espaço de tempo. Ou seja, vários usuários que usam uma mesma faixa então a usarão durante um período preestabelecido. .

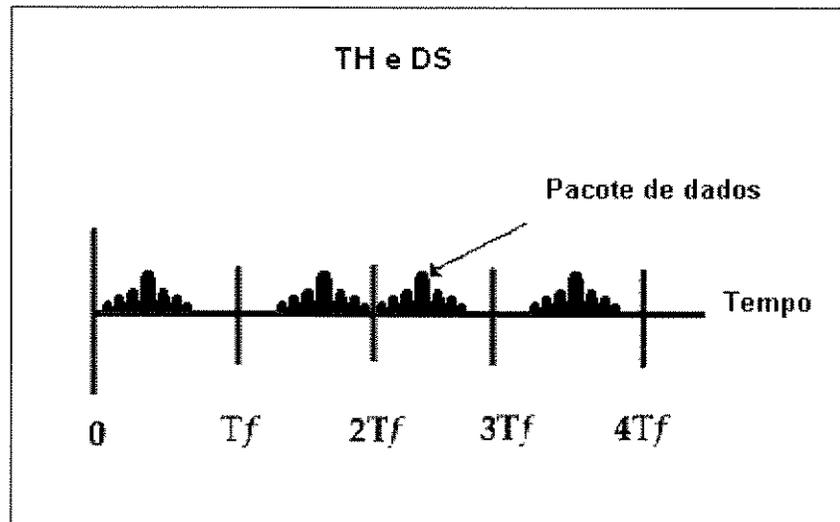


Fig.(3.16) – TH e DS.

3.7 - Análise comparativa entre as técnicas FH e DS

As principais técnicas de espalhamento espectral têm algumas particularidades, as quais definem a escolha de uma ou outra para uma determinada finalidade. Tanto a DS quanto a FH tem o desempenho característico do Spread Spectrum, mas entre estas duas técnicas existem algumas diferenças.

➤ **Faixa de resolução:** A Fig.(3.17) mostra como a faixa de resolução é usada pelas técnicas DS e FH. A técnica DS pode cobrir toda uma faixa de resolução sendo que o espalhamento mínimo é de 500KHz. Enquanto a DS ocupa uma faixa mais extensa, a técnica FH ocupa apenas parte da faixa, recomenda-se no máximo 500KHz. [2]. Existem alguns critérios que determinam a faixa de resolução; seria muito prático pensarmos que pode-se espalhar o quanto quisermos um sinal mas é necessário preservar uma boa relação entre o sinal e o ruído e também não se pode, devido às normas previstas pela legislação, ocupar uma faixa muito extensa. A palavra de códigos usados na modulação é que determinam o espalhamento necessário para o sinal, pois este espalhamento deve ser suficientemente extenso para reter a informação transmitida e o código pseudo-aleatório.

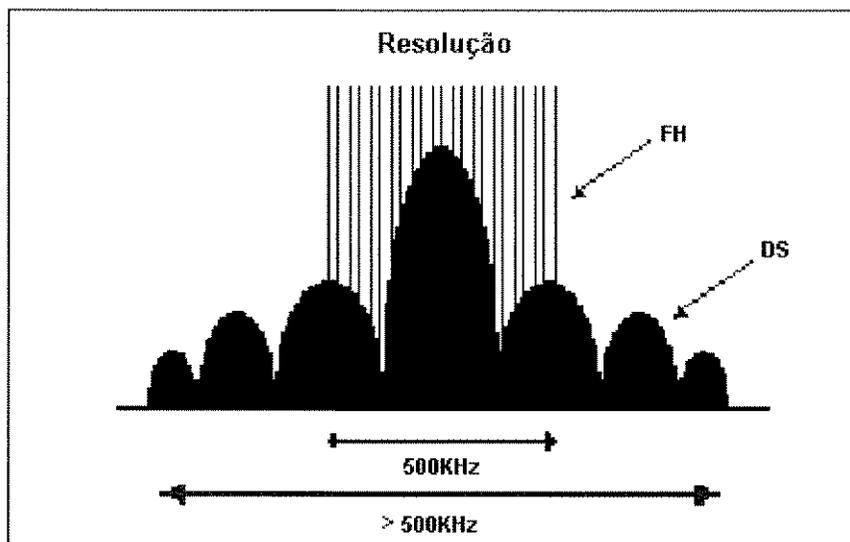


Fig.(3.17) – Faixa de resolução.

➤ **Interferência:** A Fig.(3.18) mostra como sinais não espalhados poderiam sofrer interferência de um sinal Spread Spectrum. Por ter uma potência mais espalhada que a técnica FH, a DS causa menor interferência em outros sinais. O sinal FH no entanto, por estar sempre saltando numa faixa de frequências, possui uma probabilidade de interferência em outros sinais bastante reduzida.

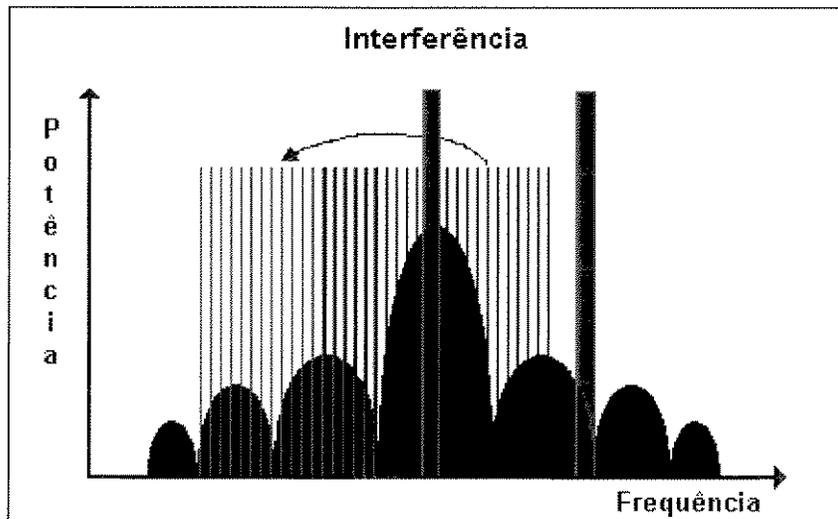


Fig.(3.18) – Interferência.

➤ **Resistência ao ruído:** Como um bom exemplo de quão interessante é o funcionamento do SS em ambiente ruidosos temos os sistemas de localização por satélite usando DS. Estes sistemas podem trabalhar com margens de ruído até superior à especificada. Isto é possível devido ao ganho de processamento que leva a ter uma razão S/R favorável [2]. Para FH, no entanto, isto não é possível porque, devido aos saltos de frequência, pode-se ter razão S/R incompatível (causada pelas frequências espúrias geradas durante os saltos).

Como vimos anteriormente, através do Teorema de Shannon(fórmula 3.1) observamos como o espectro espalhado é resistente ao ruído.

Em alguns casos, apesar de a potência do ruído ser maior que a do sinal, a largura da banda compensa esta situação. O DSSS tem condições de trabalhar em condições piores que o FHSS devido ao fato de a sua banda ser por concepção mais espalhada.

➤ **Necessidade de códigos corretores de erros:** A técnica FH necessita de códigos corretores devido aos erros que podem ocorrer no processo de salto (que é determinada pela razão S/R) gerando frequências espúrias e causando interferência intercanal.

➤ **Near-far performance:** Para DS a performance não é tão boa devido a utilização de banda comum (sinal mais forte interfere no mais fraco) ou seja, existe interferência causada entre, por ex., 2 TXs e o receptor, estando o TX1 distante 10 milhas e o TX2 0,1 milha.

Para FH isto é mais difícil de ocorrer devido a transmissão em tempos diferentes. A interferência de um TX em outro poderia ocorrer apenas quando a frequência de um saltar no mesmo canal da do outro.

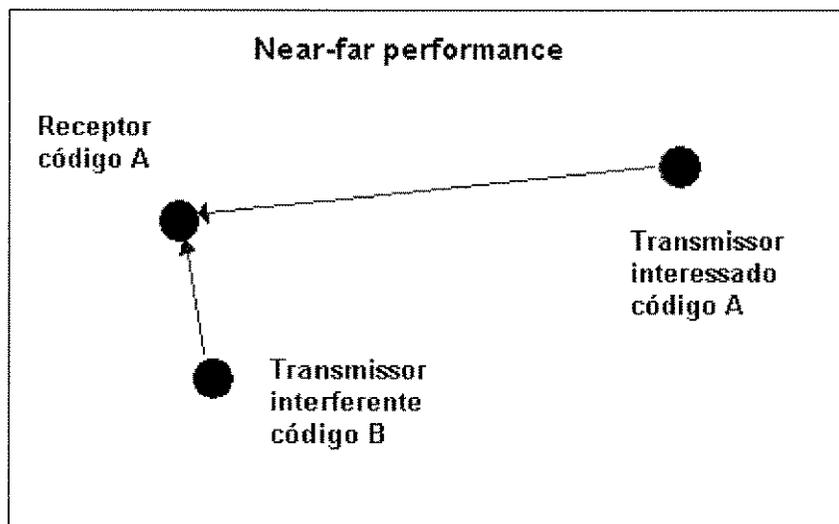


Fig.(3.19) – Near-far performance.

➤ **Requerimentos de linearidade do sinal:** Devido a maior probabilidade de que um canal com sinal mais forte suprima o sinal de um mais fraco, em DS é necessário que os canais sejam lineares. A técnica FH pode operar sem significativa degradação em canais não lineares. Repare que na Fig.(3.20), devido a sobreposição dos dois DS, pode haver interferência entre sinais mais facilmente que no caso dos sinais FH. Os saltos que ocorrem na técnica FH tornam a ocorrência deste tipo de problema muito menos provável.

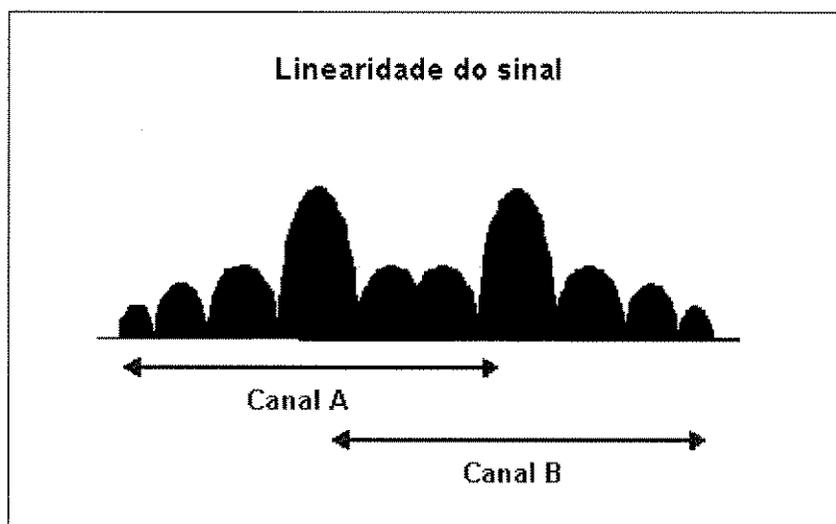


Fig.(3.20) – Linearidade do sinal DS.

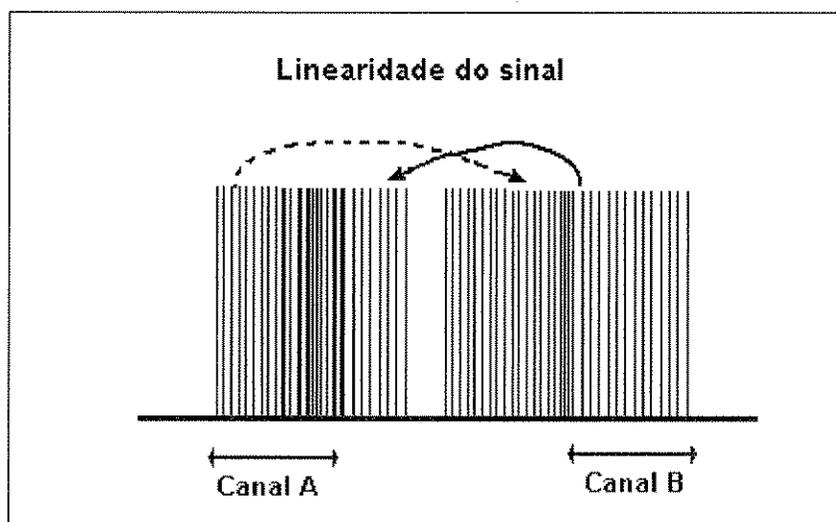


Fig.(3.21) – Linearidade do sinal FH.

➤ **Sincronização:** Existem dois passos: Sincronização inicial e Tracking. A sincronização inicial é a parte mais trabalhosa e deve levar em conta a fase do código e a frequência da portadora. Como sistemas FH tem razão de código de serviço compartilhado muito menor que os sistemas DS, a sua sincronização é muito mais rápida e fácil .

A tabela Tab.(3.1) sintetiza as afirmações acima e faz uma comparação entre a DS e a FH. Os critérios para escolha de uma ou outra técnica dependerão da aplicação. Tradicionalmente a técnica DS tem sido utilizada para transmissão de voz (por ex., telefonia celular digital - CDMA) e quando se necessita transmitir uma informação com maior quantidade de bits. A técnica FH tem sido aplicada com mais frequência em sistemas que requeiram maior segurança (*antijamming*).

Tab.3.1 - Características das técnicas DSSS e FHSS.

Direct Sequence	Frequency Hopping
Boa faixa de resolução	Faixa de resolução pobre
Sinal causa menor ruído	Banda instantânea estreita
Pode operar em ambientes ruidosos	Deve ter relação S/R favorável
Pode operar sem códigos corretores de erros	Requer códigos corretores de erros
Limitada <i>near-far</i> performance	Melhor <i>near-far</i> performance
Requer caminho de sinal linear	Opera com não-linearidade no caminho do sinal
Sincronização mais difícil	Fácil de sincronizar

3.6 - Cálculo da performance do Direct Sequence S.S. - CDMA

Atualmente a técnica Spread Spectrum está sendo aplicada no sistema de telefonia celular digital CDMA (Code Division Multiple Access). Esta tem sido a mais nobre aplicação da tecnologia desde a sua origem. O sistema CDMA tem sido a maior fonte de dados e o maior divulgador do SS. As referências do CDMA são muito úteis para implementação do SS

Com a disseminação do SS provavelmente tenhamos cada vez mais fontes de referência e estudos sobre esta tecnologia.

Os cálculos apresentados neste estudo têm como objetivo fazer referência ao desempenho do DSSS e demonstram a superioridade da tecnologia SS. Cálculos desenvolvidos por fabricantes da área servem como comprovação dos que serão apresentados.

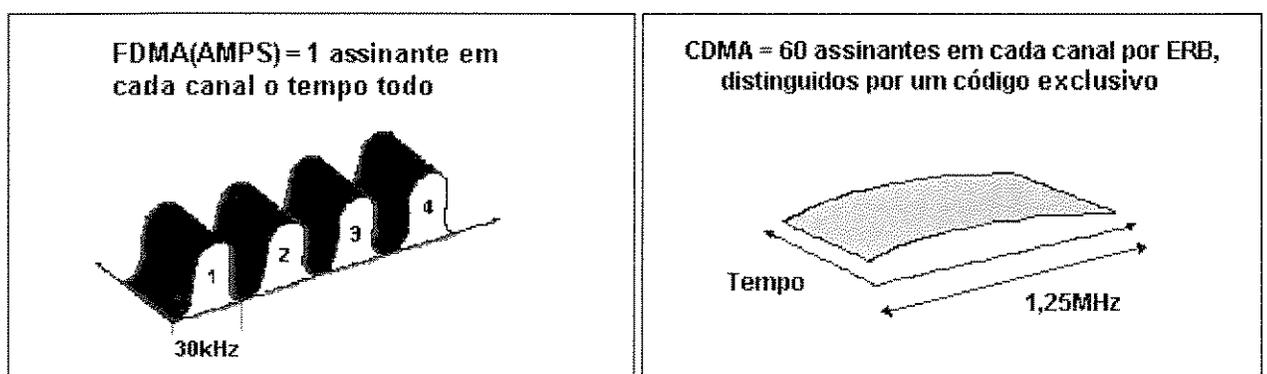


Fig.(3.22) - Número de assinantes por faixa de frequência utilizada.

3.6.1 - Considerações iniciais:

Os cálculos que se seguirão são fundamentados em algumas considerações. A distribuição geográfica dos assinantes, a atividade de voz e o controle da potência são itens importantes para o

desenvolvimento destes cálculos. O canal direto se refere àquele entre a Estação Rádio Base - ERB e o móvel. Neste caso se considerou transmissões do tipo ponto para multiponto sem controle de potência. No canal reverso, ou seja, do móvel para a ERB temos transmissões dos vários móveis(multiponto) para o ponto (ERB) e estas transmissões requerem controle de potência e este controle é essencial.

O controle da potência do sistema é relevante porque, para um bom funcionamento, cada usuário deve chegar com a mesma potência. É bom salientar que estes cálculos consideram a existência de canais reversos e a ausência de desvanecimento. Os cálculos que serão apresentados em seguida foram realizados durante o curso de Comunicações Móveis ministrado no 2º semestre de 1995.

3.6.2 - Capacidade para uma única célula:

Para dar início aos cálculos da performance do DSSS, primeiramente é feito o cálculo da relação sinal ruído - SNR. A seguintes variáveis serão inseridas neste cálculo:

- N:** Número de usuários
- W:** Largura da banda de espalhamento do sinal (= 2Rc);
- Rb:** Razão de bit p/ informação;
- Eb:** Energia de bit;
- No:** Densidade de ruído

Então:

$$SNR = \frac{EbRb}{No2Rc} = \frac{Eb/No}{2Rc/Rb} = \frac{\gamma_b}{G_p} \tag{3.8}$$

↗ Potência do bit
 ↘ Relação sinal/ ruído por bit
 ↘ Ganho de processamento

mas também

$$SNR = \frac{\text{sinal desejado}}{\text{sinal interferente}} \tag{3.9}$$

↘ Potência do ruído

O sinal interferente funciona como ruído. Existe um sinal desejado e N-1 sinais interferentes (ruído devido as outras conversações).Assumindo a mesma potência S (sinal desejado)

$$SNR = \frac{S}{(N-1)S} = \frac{1}{N-1} \tag{3.10}$$

Equacionando as fórmulas (3.8) e (3.9) tem-se:

$$N - 1 = \frac{G_p}{\gamma_b} \tag{3.11}$$

$$I = \frac{I_{out} + I_{in}}{I_{in}} \quad (3.15)$$

← Outras células
→ Própria célula

$$I_{in} = N * c \quad (3.16)$$

↘ Potência de controle do sinal

Potências da estação móvel em relação a estação base B

$$P_{BSB} = \frac{P_{MS}}{r^4} \quad (3.17)$$

↙ Potência da estação base B
↗ Potência da estação

Como a Potência da base deve ser igual a de controle $P_{BSB} = c$ (3.18)

Então,

$$P_{MS} = r^4 c \quad (3.19)$$

A Fig.(3.23) mostra o posicionamento de um móvel com potência **PMS** a uma distância **r** da ERB (Estação Radio Base) da célula B e a uma distância **d** da ERB da célula adjacente A. A potência de controle **c** deve ser igual a potência da estação radio base **PBSB**.

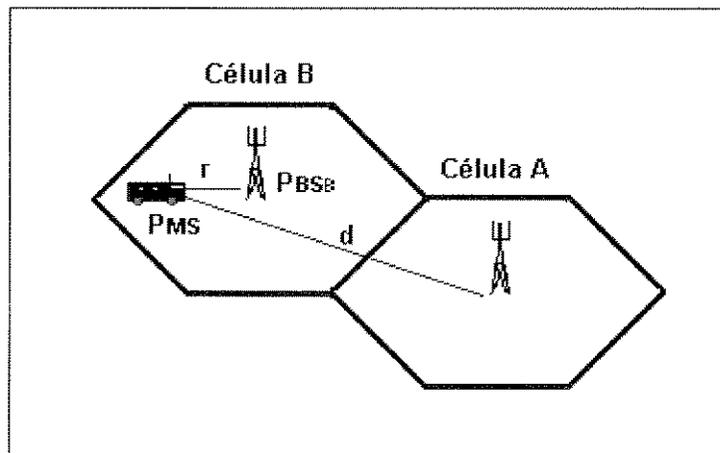


Fig.(3.23) – Fator de interferência devido às células de fora

Potências da estação móvel em relação a estação base A

$$P_{BSA} = \frac{P_{MS}}{d^4} = \left(\frac{r}{d} \right)^4 c \quad (3.20)$$

↙ Potência da estação base A

Interferência média na estação base A devido a célula B.

$$c \iint_{\text{área}} \left(\frac{r}{d}\right)^4 p\left(\frac{r}{d}\right) d\left(\frac{r}{d}\right) = ci1 \quad (3.21)$$

A interferência média em toda a área da célula B é dada pela fórmula acima. Para uma distribuição uniforme do tráfico $i1 \approx 0,06$

Em um *cluster* com 7 células cada célula recebe a interferência das 6 células que a cercam. Desta forma temos: $6i1$

Seguindo o mesmo procedimento para uma segunda área específica

Então,

$$\text{Fator de interferência} \quad I_{out} = Nc \sum_{i=1}^{\infty} b_{eltii} \quad (3.22)$$

Como

$$I = \frac{I_{out} + I_{in}}{I_{in}} \quad (3.23)$$

Desta forma

$$I = \frac{I_{out} = Nc \sum_{i=1}^{\infty} b_{eltii} + Nc}{Nc} \quad (3.24)$$

$$I = \frac{Nc * 6i1 + Nc}{Nc} \quad (3.25)$$

Para distribuição uniforme de tráfico $I \approx 1,5$ ou seja, a interferência devido as outras células é de 50%.

Usando os mesmos parâmetros da equação (3.7) e acrescentando a interferência devido as outras células.

$$N - 1 = 26 / 1,5 = 17 \text{ Máximo de conversações simultâneas possíveis.} \quad (3.26)$$

3.6.4 - Atividade de voz:

No período de silêncio quanto menor a taxa de transmissão menor será a potência de transmissão e por sua vez a interferência.

O período de silêncio é então usado para aumentar a capacidade de conversações simultâneas. Logo inclui-se o fator de atividade de voz v na fórmula.

$$N - 1 = \frac{Gp}{vI\gamma b} - \frac{\eta}{c} \quad (3.27)$$

Tipicamente para atividade de voz $v \approx 0,5$ e usando os mesmos parâmetros da fórmula (3.19) teremos :

$$N - 1 = 17 / 0,5 = 34 \text{ Conversações simultâneas.} \quad (3.28)$$

3.6.5 - Setorização:

O uso de antenas direcionais reduzem a interferência . Incluindo um fator de redução de interferência s referente à setorização:

$$N - 1 = \frac{sGp}{vI\gamma b} - \frac{\eta}{c} \quad (3.29)$$

Tipicamente $s \approx 3$ e usando os mesmos parâmetros da fórmula (3.21) teremos:

$$N - 1 = 34 * 3 = 102 \text{ Conversações simultâneas.} \quad (3.30)$$

3.6.6 - Controle de potência:

Até então temos considerado controle de potência ideal, mas na prática temos:

- Perda de controle devido ao *fading*;
- Atraso no controle.

Áreas urbanas apresentam estes problemas. Os transmissores móveis nas periferias são os mais críticos. Para p sendo o fator de redução devido aos problemas de controle e incluindo-o na fórmula tem-se:

$$N - 1 = \frac{sGp}{vI\gamma b} (1 - p) - \frac{\eta}{c} \quad (3.31)$$

Tipicamente:

- $p \approx 0,45$ para áreas muito acidentadas;
- $p \approx 0,1$ para áreas com linha de visada.

Usando os mesmos parâmetros da fórmula (3.23) e $p \approx 0,5$ teremos:

$$N - 1 = 102 * 0,5 = 51 \text{ Conversações simultâneas.} \quad (3.32)$$

3.7 - Comparação entre os sistemas AMPS e o CDMA

O cálculo do número de usuários por célula feito anteriormente para o DSSS/CDMA comparado com o número de usuários do sistema CDMA para uma mesma banda de 1,25MHz reflete muito bem o efeito do espalhamento espectral. O sistema CDMA possui uma largura de banda de aproximadamente 1,25 MHz e nesta portadora falam simultaneamente vários usuários.

No sistema AMPS (sistema celular analógico) cada assinante usa uma portadora com 30kHz.

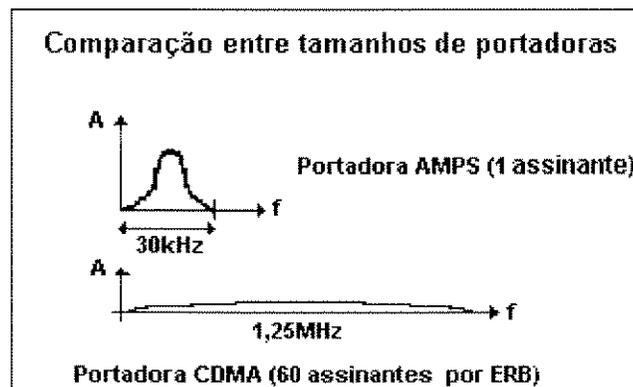


Fig.(3.24) – Comparação entre tamanhos de portadoras.

Para uma banda de 1,25MHz o sistema AMPS tem:

$$1,25 \cdot 10^6 / 30 \cdot 10^3 = 42 \text{ Canais} \quad (3.33)$$

Para 7 células por cluster tem-se 6 canais por célula.

Por isto:

$$\frac{\text{CDMA}}{\text{AMPS}} = \frac{51}{6} = 8,5 \quad (3.34)$$

3.8 - Comentários finais

Os cálculos realizados refletem bem o desempenho do sistema digital CDMA sobre o analógico AMPS. Sistemas já implantados apresentam variações entre 6 e 18 vezes. Esta variação acontece porque depende do tipo de sistema e de diversos fatores por vezes aleatórios. Ensaios de campo devem sempre serem feitos para confirmar o desempenho do sistema.

Informações provenientes de fabricantes e operadores de telecomunicações afirmam que o CDMA multiplica a capacidade do AMPS de 6 a 18 vezes. Não é possível um fator de

multiplicação mais específico porque a capacidade do CDMA depende da eficiência com que é controlada a potência de transmissão de ERBs e de telefones móveis .

No caso de WLL (*Wireless Local Looping*), por exemplo, onde não há movimento, é possível chegar a 18 vezes o AMPS. Numa região densamente povoada e de topografia acidentada, o controle da potência de transmissão será difícil e resultará em menos assinantes. Numa região plana e pouco povoada, a capacidade será muito maior, pois boas condições de propagação resultarão em melhor controle de potência.

Outro exemplo que comprovará os cálculos anteriores e ajudará a compreender o fator de multiplicação foi fornecido pela Motorola:

Um canal CDMA tem largura de banda de 1,25 MHz . Com tal banda, um sistema AMPS organizado em grupos de sete células teria 42 canais de 30 kHz ($1,25 \text{ MHz} \div 30 \text{ kHz} = 42$); cada célula então disporia de 6 canais. Ao contrário do AMPS, o sistema CDMA pode usar o mesmo canal de 1,25 MHz em todas as sete células.

Com base em testes de campo e em simulações matemáticas, comprovou-se que o sistema da Motorola suporta 54 canais de tráfego (assinantes simultâneos) em cada célula. Considerando-se as sete células, isto resulta em 378 canais efetivos. Neste exemplo, o CDMA oferece um ganho de 9 vezes a capacidade do sistema AMPS ($378 \div 42 = 9$).

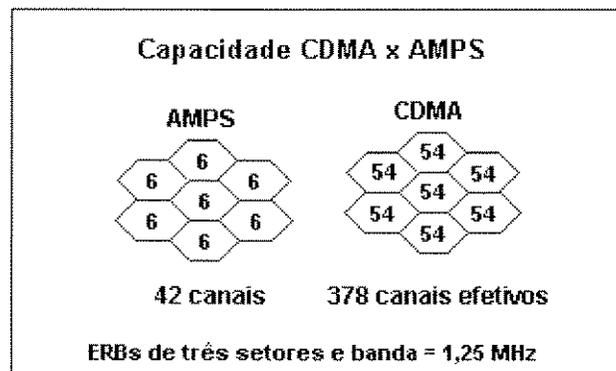


Fig.(3.25) – Capacidade CDMA x AMPS.

3.9 - Conclusões

Será que todas estas vantagens apresentadas pelo Spread Spectrum realmente são verdadeiras? Por algumas vezes fiquei esperando com ceticismo pelo desempenho dos equipamentos mas a transmissão era bem sucedida. Tudo tem seu limite é claro, mas ficou comprovado que, em situações das mais variadas e desfavoráveis como proximidade com fontes de ruído e espectro “congestionado” (isto acontece quando se tem para uma mesma faixa de frequência uma quantidade de transmissões maior do que a ideal para se ter uma boa qualidade de sinal), a performance foi sem dúvida muito melhor que para sistemas convencionais, os quais falhavam.

Muitas vezes temos que fundamentar nossas argumentações em referências bibliográficas. A oportunidade de conhecer e comprovar na prática aquilo que estudamos certamente é muito compensador. Realmente foi possível comprovar as características e vantagens do SS mencionadas.

Os cálculos e ensaios realizados por alguns fabricantes apresentaram resultados bastante parecidos. A maior fonte de informações a nível de grandes sistemas ainda é a telefonia celular digital.

A utilização de um ou outro tipo de técnica de SS é definida pelo tipo de aplicação. As diferenças entre as técnicas não são tão grandes, contudo quando se deseja ter mais segurança anti-jamming a opção certamente será a técnica Frequency Hopping. Para finalidades comerciais a Direct Sequence tem sido preferida (como é o caso do CDMA). Realmente tanto a DS quanto a FH tem suas vantagens comparativas. Apesar de necessitar de códigos corretores de erros (devido aos saltos) a FH é mais fácil de sincronizar, tem melhor near-far performance e opera com não linearidade do sinal. Já o DS opera sem códigos corretores de erros, tem melhor performance em ambientes ruidosos, interfere menos e tem melhor faixa de resolução.

No próximo capítulo serão apresentados alguns ensaios e sistemas nos quais se poderá fazer uma análise mais prática de como foi o desempenho e do Spread Spectrum e também analisar sua aplicabilidade.

CAPÍTULO 4 - Especificação de um sistema de telemetria usando Spread Spectrum

4.1 - Introdução

O forma de transmissão proposta para interligar os pontos de aquisição de dados com a central receptora é a sem fio utilizando a tecnologia *Spread Spectrum* - SS (Espalhamento Espectral). O SS tem grandes vantagens, como foi mostrado no capítulo anterior, sobre as outras formas de transmissão e tem sido utilizado em sistemas de comunicação militares e, mais recentemente, em aplicações comerciais.

O objetivo deste capítulo é explorar a aplicação do SS em um sistema de telemetria. **Um projeto piloto desenvolvido para atender as necessidades de uma companhia de abastecimento de água, mais propriamente a SABESP**, serviu de referência e forneceu informações relevantes para o desenvolvimento deste estudo. Esta oportunidade de desenvolver um estreito contato com uma empresa do setor permitiu que se desenvolvesse um trabalho mais prático e com maior objetividade. As necessidades demonstradas pela empresa e as adaptações do sistema ao ambiente foram de grande importância.

Uma rede metropolitana para monitorização e medição de consumo tem como principal característica a forma de interligação de seus nós (pontos) e tem condições fazer monitorização “*on-line*” do consumo de água e energia elétrica por exemplo.

Os transmissores SS podem ser incorporados aos hidrômetros para transmitir para companhias de abastecimento de água os dados de consumo de cada usuário. Isto é de grande importância pois abre a possibilidade de otimizar e melhorar a distribuição e controlar o consumo.

Existem sistemas que recebem um sinal de *status* que possui informações como a leitura e número do usuário e outros que transmitem e recebem dados com informações diversas que são úteis ao desenvolvimento de processos e permitem um controle mais sofisticado.

4.2 - Vantagens da aplicação

Independente do fato de se tratar de um sistema de abastecimento de água ou de eletricidade, um Sistema de Telemetria e Controle Spread Spectrum tem condições de atender às seguintes especificações:

➤ **Reduzir os custos de operação e manutenção:**

O fato de se possuir um controle *on-line* do sistema permitirá que sejam definidos parâmetros de referência para as leituras obtidas de tal forma que possam ser utilizados os padrões de segurança que caracterizem a necessidade de uma manutenção preventiva. Com base nestes parâmetros será possível estabelecer critérios que justifiquem as manutenções não programadas, pois através de um software que fará a atualização das leituras se saberá todas as informações relevantes.

➤ **Aumentar a segurança e o controle ambiental:**

Problemas graves de segurança poderiam ser evitados se fosse possível um controle mais preciso do sistema. A monitoração de pressão e o nível de reservatórios são bons exemplos. Problemas como rompimento de adutoras podem ser identificados rapidamente evitando desta forma que se tenha maiores perdas e danos ao ambiente.

➤ **Melhorar o grau de serviço do sistema:**

Quando ocorre algum tipo de problema em um sistema de abastecimento muitas pessoas são prejudicadas pela paralisação nas atividades provocada pelas obras para conserto. O ideal seria evitar o máximo este tipo de transtorno através da melhora do grau de serviço do sistema. Uma monitoração *on-line* propicia um aumento do conhecimento das instalações e conseqüentemente uma melhora do grau de serviço.

➤ **Detectar problemas mais rapidamente:**

É comum haver panes em sistemas que até então não apresentavam sinais de problemas. Geralmente as pessoas preferem acreditar que estará tudo funcionando perfeitamente. Quando acontece alguma ocorrência inesperada os prejuízos são muito grandes e a repercussão dos mesmos pior ainda. Uma forma de se identificar alterações no sistema mais rapidamente é obter informações sobre o mesmo durante intervalos pré-definidos.

➤ **Otimizar a utilização dos equipamentos e da mão de obra:**

A utilização dos recursos disponíveis como equipamentos e mão de obra da manutenção tem um custo elevado e muitas vezes não se tem critérios para desenvolvimento das atividades. Geralmente espera-se que algo errado aconteça para que sejam acionados. Com uma monitoração *on-line* pode-se direcionar os esforços para as áreas que apresentarem alguma incoerência quanto ao funcionamento.

➤ **Aumentar a satisfação do cliente:**

Com certeza o principal objetivo de uma prestadora de serviços é sempre atender as expectativas dos seus clientes. Uma monitoração on-line permitirá que se faça consultas on-line. Desta forma o consumidor poderá saber quanto estará consumindo e até programar seu consumo.

Será possível conhecer melhor o perfil de cada usuário do sistema e poderá ser feita alguma forma de incentivo.

Outra vantagem é permitir a manutenção do serviço contribuindo para diminuir as ocorrências de problemas causados por racionamento e ou falta de abastecimento devido a serviços corretivos.

➤ **Evitar acidentes com leituristas:**

Outra vantagem é evitar acidentes com os leituristas já que se torna desnecessário que se entre em um local particular. Muitas ocorrências de acidentes ocorrem atualmente devido a dificuldade de se chegar ao local de leitura.

➤ **Evitar perdas físicas e não físicas:**

É muito grande a incidência de fraudes e erros em um sistema e algumas vezes não se consegue saber a causa. Uma monitoração on-line permitirá que se tenha a curva de demanda detalhada do consumo do consumidor e desta forma as incoerências serão detectadas imediatamente e as providências poderão ser tomadas para solucionar o problema.

O fato de poder saber quanto se consome e ao mesmo tempo fazer um controle deste consumo propicia:

- ◆ conceder uma leitura diária de consumo.
- ◆ alertar o consumidor sobre o consumo.
- ◆ incentivar o consumo em horários preestabelecidos.
- ◆ evitar fraudes e falhas nas leituras.
- ◆ evitar o desperdício.
- ◆ automatizar a leitura.

Com o consumo de energia elétrica residencial e comercial, por exemplo, sendo de aproximadamente 40% (média nacional), pode-se conseguir uma economia substancial e aproveitar esta energia para o consumo.

Pode-se conseguir uma diminuição do déficit de abastecimento de energia ou água e minimizar a crise de abastecimento pela qual nos corremos o risco de passar.

4.3 - Visão geral

A figura abaixo mostra uma visão geral do sistema de telemetria e controle Spread Spectrum. Repare que além de ser usado para extrair dados de hidrômetros e medidores de energia elétrica, o sistema pode também fazer o sensoramento e/ou controle de máquinas, sensores de gás, fumaça e sistemas de segurança.

A Fig.(4.1) mostra os dispositivos que fornecem a informação, as interfaces de aquisição, os transmissores, a receptora conectada ao PC e finalmente o software ou interface com o usuário.

Os fatores que mudam de um sistema para outro são: aquisição dos dados e o software de controle do sistema. A forma como se faz a transmissão e recepção continua a mesma.

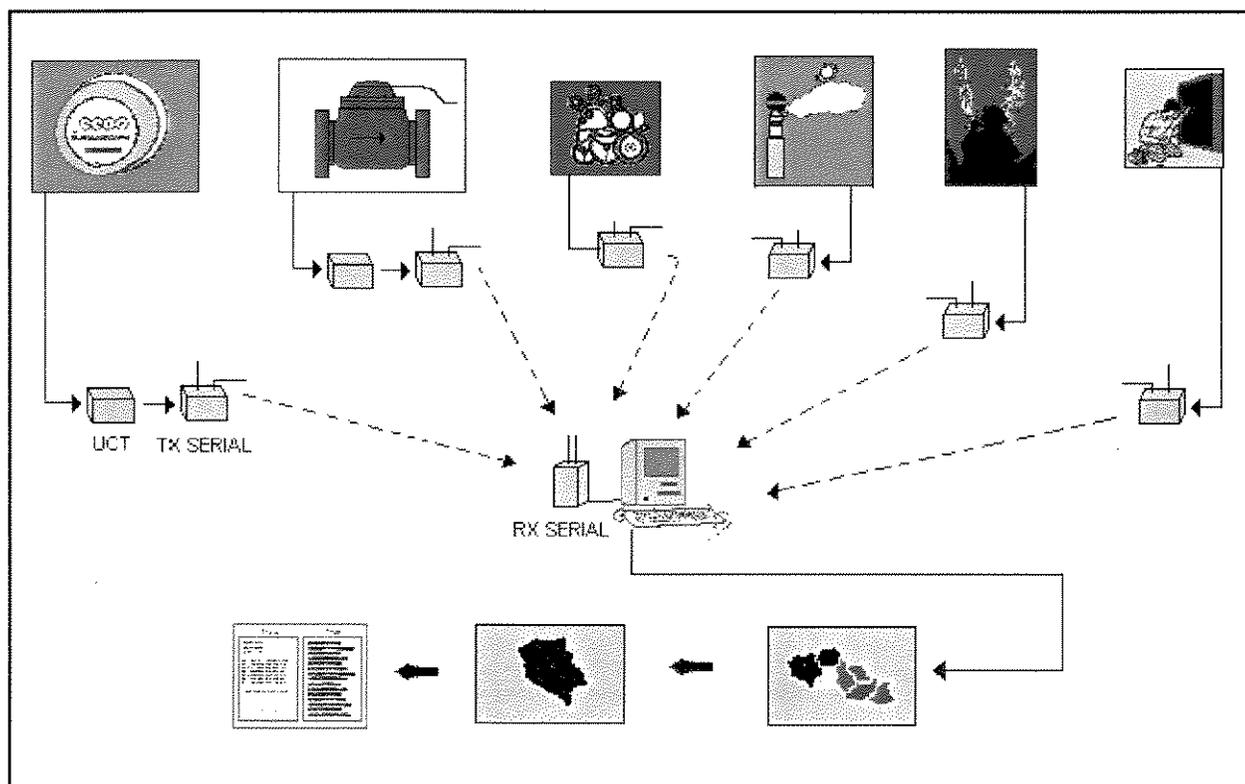


Fig.(4.1) - Visão geral do sistema de telemetria.

4.4 - Ensaios preliminares

4.4.1 – Primeiro Ensaio:

Objetivos:

As medidas foram feitas numa estrada (“Tapetão”) com terreno plano e as passarelas foram utilizadas na alteração dos pontos de transmissão e recepção.

Os equipamentos utilizados foram de fabricação da empresa Americana *Inovonics Co.*. Os transmissores usados têm 10mW de potência e usam a técnica Frequency Hopping.

O alcance do sinal de transmissão foi medido em uma área plana e com linha de visada. O objetivo deste ensaio foi determinar o alcance máximo obtido pelo sinal e avaliar o funcionamento da repetidora e como se deveria fazer uso dela para aumentar o alcance do sinal.

Procedimento:

As medidas foram feitas distanciando-se a receptora - RX do transmissor – TX. O sinal foi medido até seu nível ficar no limiar (*weak signal*) ou seja distância D1.

A figura abaixo mostra o esquema do ensaio. A distância limite do alcance do sinal foi a D1. Próximo ao limite do alcance do sinal, distância D2, foi instalada uma repetidora de sinal - RpTX com o objetivo de ampliar a área de cobertura e garantir o nível do sinal. O alcance total do sinal com repetidora foi de D2+D3.

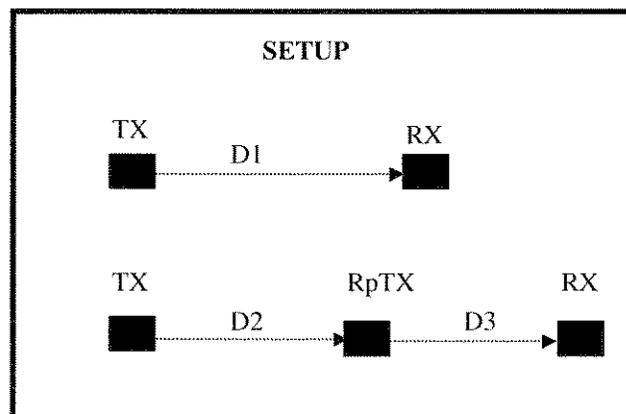


Fig.(4.2) - Esquema

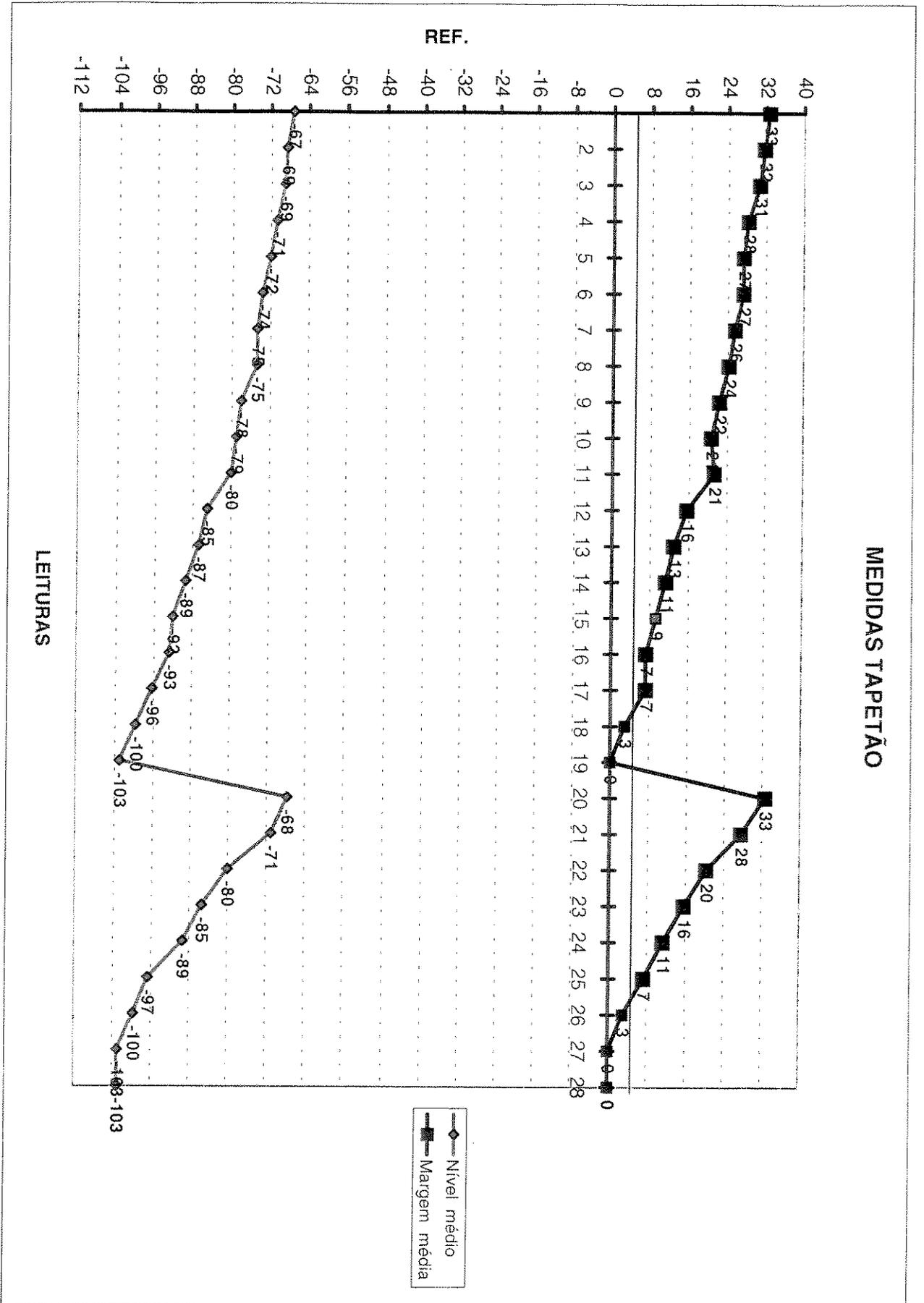
Resultados:

Tab.(4.1) – Resultados do primeiro ensaio.

Leitura	Referência	Point Status									Nível médio	Margem média
		Sinal			Nível			Margem				
1	10m	G	W	I	-67	-67	-68	33	33	32	-67	33
2	100m	G	W	I	-69	-69	-68	32	31	32	-69	32
3	150m	G	W	I	-69	-70	-68	31	30	31	-69	31
4	200m	G	W	I	-70	-71	-71	28	29	28	-71	28
5	250m	G	W	I	-72	-72	-72	27	27	28	-72	27
6	350m	G	W	I	-74	-73	-74	27	27	28	-74	27
7	400m	G	W	I	-74	-75	-75	27	25	25	-75	26
8	450m	G	W	I	-74	-76	-74	25	25	23	-75	24
9	500m	G	W	I	-79	-77	-78	23	22	22	-78	22
10	600m	G	W	I	-79	-80	-78	21	21	20	-79	21
11	700m	G	W	I	-82	-79	-79	18	23	23	-80	21
12	800m	G	W	I	-84	-84	-87	16	16	15	-85	16
13	900m	G	W	I	-87	-86	-87	13	13	13	-87	13
14	1000m	G	W	I	-88	-89	-91	12	11	11	-89	11
15	1100m	G	W	I	-91	-93	-92	10	10	8	-92	9
16	1200m	G	W	I	-92	-93	-93	8	7	7	-93	7
17	1300m	G	W	I	-96	-96	-97	8	7	7	-96	7
18	1400m	G	W	I	-101	-99	-99	3	3	3	-100	3
19	1500m	G	W	I	-103	-103	-103	0	0	0	-103	0
20	1600m	G	W	I	-67	-68	-68	33	33	32	-68	33
21	1700m	G	W	I	-70	-72	-71	28	27	28	-71	28
22	1800m	G	W	I	-79	-82	-79	21	19	21	-80	20
23	1900m	G	W	I	-84	-85	-87	16	16	15	-85	16
24	2000m	G	W	I	-88	-89	-91	12	11	11	-89	11
25	2100m	G	W	I	-96	-97	-97	8	7	7	-97	7
26	2200m	G	W	I	-99	-99	-101	3	3	3	-100	3
27	2300m			I	-103	-103	-103	0	0	0	-103	0
63	2400m			I	-103	-103	-103	0	0	0	-103	0

OBS.: A tabela de resultados seguem a seguinte terminologia: G é *Good* (sinal bom), W é *Weak* (sinal fraco) e I é *Inactive* (sinal não recebido).





Conclusões:

As medidas de campo constataram o que se esperava; um grande desempenho da técnica de espalhamento espectral.

O alcance do sinal em linha de visada com 10 mW de potência foi de 1.4 Km. A partir desta distância o sinal tornou-se inconstante e não foi mais recebido.

Os gráficos ilustram bem como foi o desempenho com a alteração da distância. Se fosse trabalhar com um margem de segurança razoável de 8 dBm teríamos um alcance de 1.1Km.

A elevação do transmissor melhorou um pouco o sinal mas como não se teve uma grande alteração na visada, que já era boa, o nível do sinal não se alterou significativamente.

A repetidora foi instalada em um ponto entre o transmissor e o receptor. O local mais adequado foi a 1.1Km do transmissor, pois o nível de sinal neste ponto foi considerado bom. Isto foi importante e coerente para assegurar que o sinal chegasse à repetidora e que pudesse ser retransmitido. O funcionamento da retransmissão era perceptível e o alcance do sinal foi bastante melhorado.

O fato de a visada direta ter sido perdida provocou desvanecimento no sinal. O alcance total foi de 2.7Km.

Ensaio posteriores com o transmissor FA250, com 300mW de potência, da *Inovonics*, resultaram em um alcance de 3,3Km. Os resultados destes ensaios não serão apresentados.

4.4.2 – Segundo Ensaio:

Objetivos:

Repare que no momento não se trata de uma medida entre pontos fixos e que foi necessário cobrir toda uma área onde se encontravam os pontos de transmissão. Isto devido ao fato de haver uma receptora móvel e também transmissores móveis. O objetivos deste ensaio foram testar o desempenho do sistema em um ambiente urbano e adequa-lo às situações próprias deste tipo de ambiente. Este ensaio permitiu que estudássemos os efeitos, em situação real, do desvanecimento do sinal e também que fossem feitas algumas alterações na instalação com o objetivo de melhorar o sistema. Foi analisado o funcionamento da repetidora e o que deveria ser feito para melhorar os sinais com a sua utilização.

Procedimento:

O planejamento da rede foi feito de acordo com a área de cobertura necessária e, como anteriormente, as medidas foram feitas distanciando-se a receptora RX do transmissor TX. O sinal foi medido até o nível do sinal ficar no limiar (weak signal) ou seja distância D1 de toda a área.

A escolha do melhor ponto para a repetidora foi feita de acordo com as características do ambiente e algumas zonas de somreamento ou sinal fraco apareceram.

As medidas foram feitas elevando-se a altura da repetidora- RpTX em relação aos TXs e RXs. Este procedimento foi feito para melhorar a visada entre os pontos de recepção e transmissão. Uma repetidora de sinal tem como objetivo ampliar a área de cobertura e garantir o nível do sinal.

Foram utilizados os seguintes dispositivos:

- Central Repetidora FA525.
- Central Receptora FA416.
- Transmissor Portátil FA204.
- Sensor universal FA210.
- Programador FA116.

Disposição:

A área mostrada abaixo, devido ao seu formato, é conhecida como Triângulo. Este local fica próximo à Unicamp e possui aproximadamente 120 residências em uma área com as seguintes dimensões:800x600x400m.

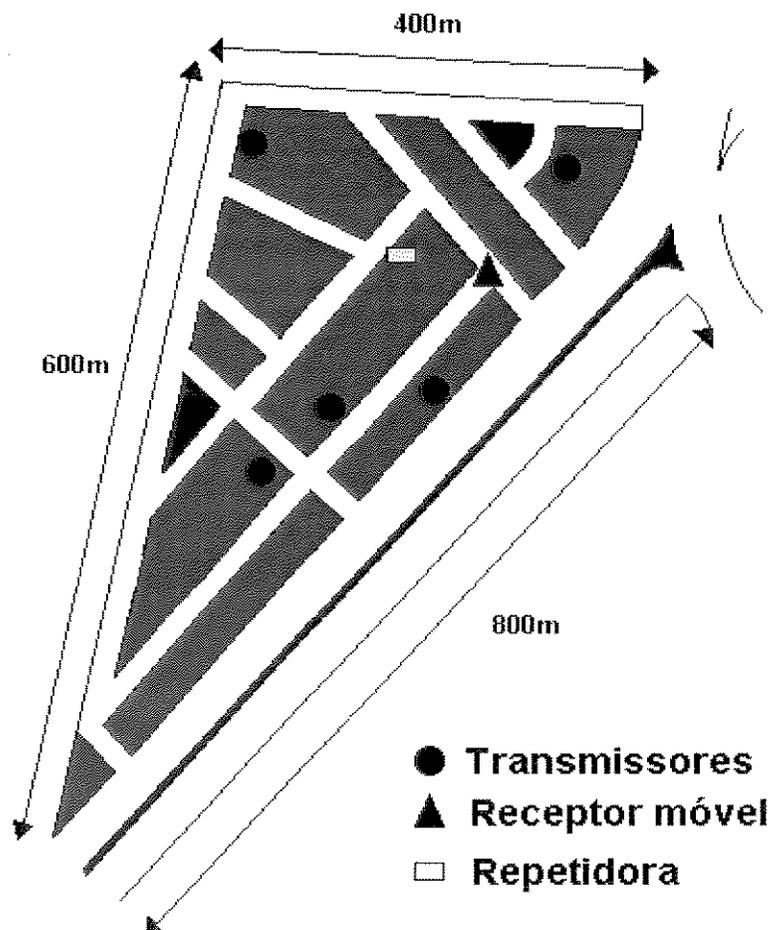


Fig.(4.3) – *Setup* do segundo ensaio.

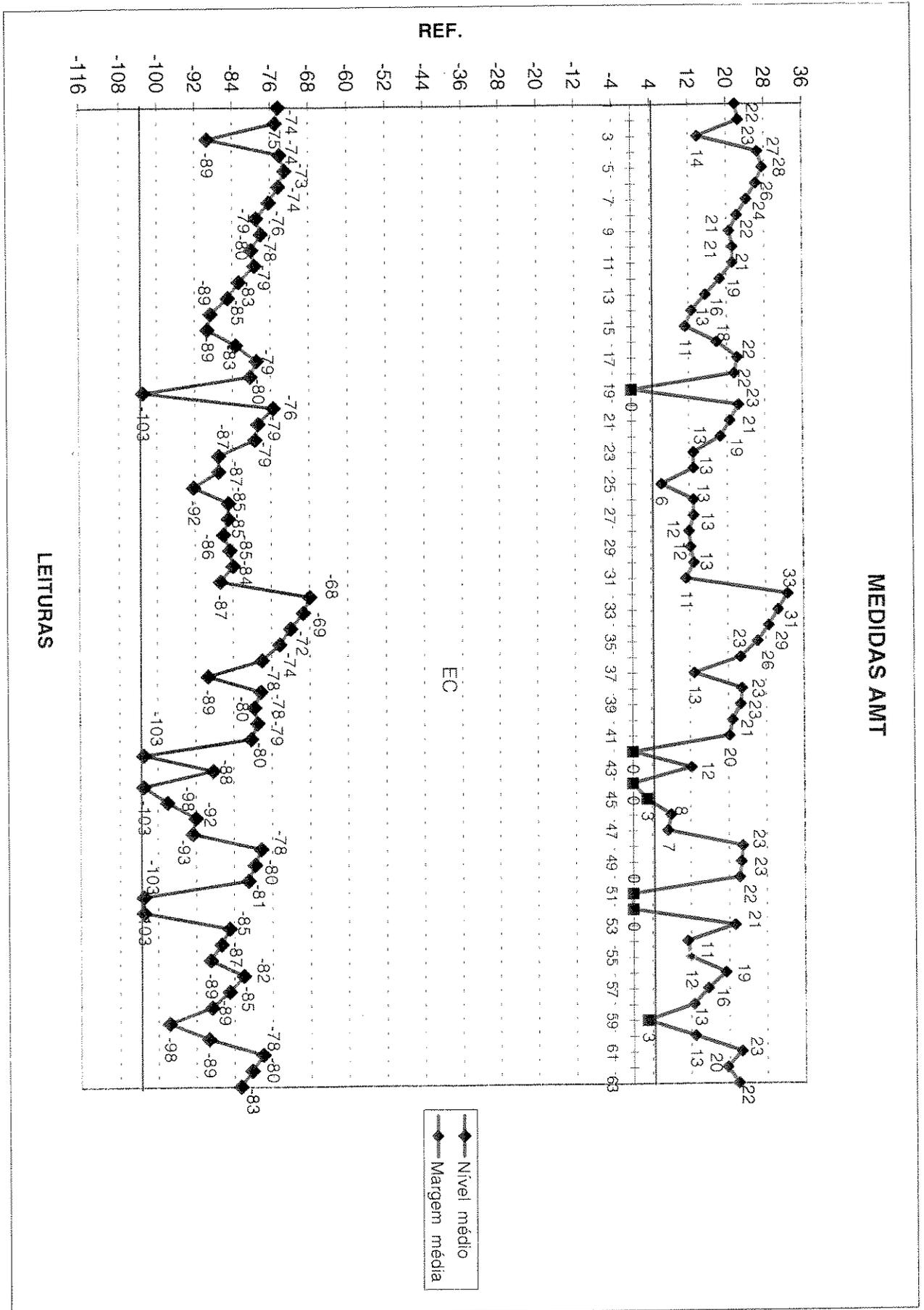
Resultados:

Tab.(4.3) - Resultados do segundo ensaio (continuação).

Leitura	Referência	Point Status									Nível médio	Margem média
		Sinal			Nível			Margem				
43	Área cinza do esquema	G	W	I	-89	-88	-88	13	12	12	-88	12
44	Área rosa do esquema	G	W		-	-	-	-	-	-	-103	0
45	Área cinza do esquema	G	W	I	-	-97	-99	-	3	3	-98	3
46	Área cinza do esquema	G	W	I	-92	-92	-	8	8	-	-92	8
47	Área cinza do esquema	G	W	I	-92	-93	-93	8	7	7	-93	7
48	Área cinza do esquema	G	W	I	-79	-77	-79	23	23	23	-78	23
49	Área cinza do esquema	G	W	I	-79	-80	-80	23	23	22	-80	23
50	Área cinza do esquema	G	W	I	-79	-83	-81	23	23	21	-81	22
51	Área rosa do esquema	G	W		-	-	-	-	-	-	-103	0
52	Área rosa do esquema	G	W		-	-	-	-	-	-	-103	0
53	Área cinza do esquema	G	W	I	-79	-92	-84	23	23	18	-85	21
54	Área cinza do esquema	G	W	I	-85	-85	-90	13	13	8	-87	11
55	Área cinza do esquema	G	W	I	-89	-	-		12	-	-89	12
56	Área cinza do esquema	G	W	I	-80	-84	-82	21	19	18	-82	19
57	Área cinza do esquema	G	W	I	-84	-84	-87	16	16	15	-85	16
58	Área cinza do esquema	G	W	I	-89	-89	-88	13	13	12	-89	13
59	Área cinza do esquema	G	W	I	-97	-97	-99	3	3	3	-98	3
60	Área cinza do esquema	G	W	I	-90	-89	-89	13	13	13	-89	13
61	Área cinza do esquema	G	W	I	-79	-77	-78	23	23	22	-78	23
62	Área cinza do esquema	G	W	I	-82	-81	-78	20	19	20	-80	20
63	Área cinza do esquema	G	W	I	-82	-84	-82	22	21	23	-80	20

GTF - 01/06/96 - TESTE.DOC

OBS.: A tabela de resultados seguem a seguinte terminologia: G é *Good* (sinal bom), W é *Weak* (sinal fraco) e I é *Inactive* (sinal não recebido).



Conclusões:

A princípio, a maior dificuldade encontrada foi o levantamento do sinal em toda a área com a receptora em movimento (dentro de um automóvel).

A polarização das antenas da receptora foi alterada. A central receptora Spread Spectrum possuía originalmente diversidade de polarização (uma antena com 90° de inclinação em relação a outra). As duas antenas foram instaladas sobre o automóvel com a finalidade de melhorar a recepção. Foram feitas adaptações para instalação e alimentação da receptora. Como era de se esperar, foi observada uma melhora da recepção após a instalação das antenas na lateral do automóvel.

Algumas áreas de sombreamento foram identificadas e por isto a alteração da posição da repetidora foi necessária.

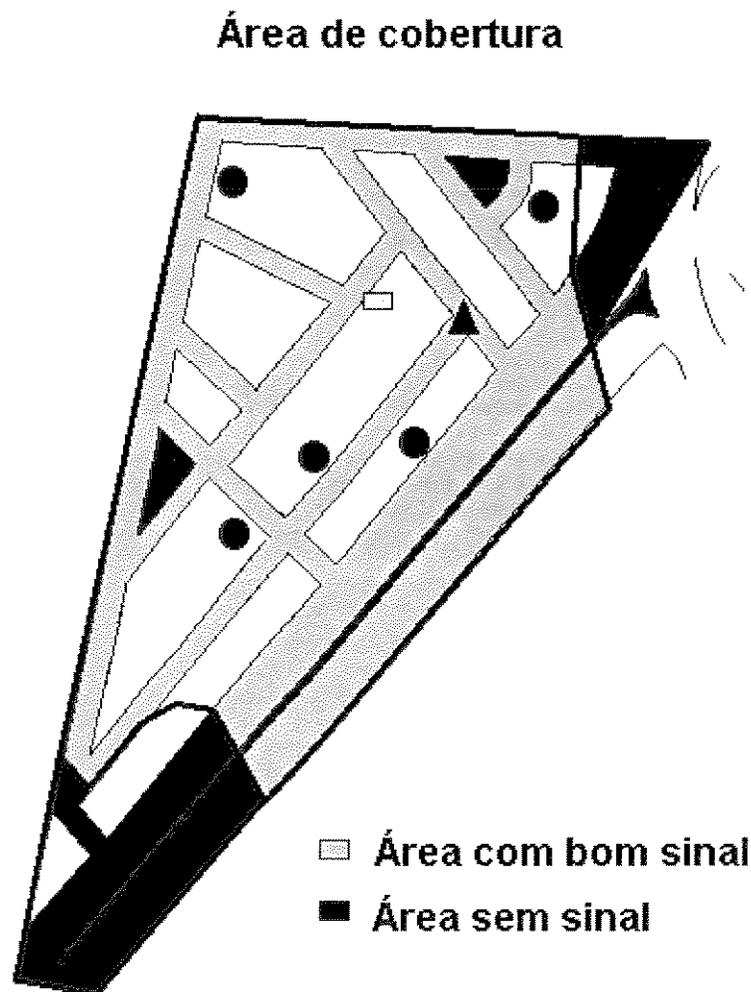


Fig.(4.4) – Área de cobertura do sinal.

A repetidora foi instalada em cima de um sobrado em construção que ficava próximo à região central e tinha uma boa visada da maior parte do triângulo.

Repare que a maior parte da área do triângulo foi atendida com uma única repetidora e com potência de apenas 10mW.

O resultado foi satisfatório e atendeu perfeitamente a todos os pontos de transmissão que se encontravam dentro da área cinza da figura Fig.(4.4).

Algumas modificações poderiam ser feitas para aumentar a área de cobertura da rede como:

- Primeiramente, o aumento da potência do sinal da repetidora seria conveniente.
- Outras repetidoras poderiam ser utilizadas para aumentar a área de cobertura e acabar com possíveis áreas de sombreamento.
- A potência dos transmissores poderia também ser elevada.

Esta instalação foi particularmente interessante pois se tratava de uma área pré-definida com dispositivos transmissores fixos e móveis e receptor também móvel. O resultado, para uma região urbana, foi muito satisfatório e acredito que com as modificações sugeridas acima pode-se conseguir um desempenho ainda melhor.

4.5 - Requisitos e especificação dos componentes do sistema

Primeiramente foi necessário extrair as medidas dos dados, provenientes de hidrômetros, que atualizarão a leitura do consumo. A identificação do equipamento ou usuário é outra informação fundamental.

Pode-se trabalhar com um sistema supervisionado, ou seja, com equipamentos que além das informações como consumo e número do usuário transmitam outras informações necessárias e alteráveis ao longo do tempo como:

- Estado do equipamento:

Para este caso tem-se 3 situações:

1. O transmissor está transmitindo normalmente;
2. O transmissor não está transmitindo (inativo);
3. O sinal não foi recebido;

- Estado da bateria:

Por ser SS a potência do sinal não é alta e o seu consumo por sua vez também não é. Isto permite que as baterias tenham alta durabilidade, contudo o sistema pode ser alertado quando as baterias começarem a enfraquecer.

- Violação:

Em caso de violação, abertura do equipamento, um sensor de abertura interno transmite um sinal que alerta para este tipo de ocorrência.

Foi feito um estudo do ambiente para se determinar e localizar o número de pontos de telemetrização e também para especificar a quantidade de equipamentos que seria utilizada (repetidoras, transmissores e receptores, etc.).

Com a determinação do número de pontos de transmissão e de recepção foi possível fazer medidas de campo e determinar o número de repetidoras e materiais diversos para a instalação.

A única central local de recepção e o terminal de PC ficaram dentro do prédio da empresa. Os transmissores e repetidora foram posicionados estrategicamente para se conseguir a melhor visada. Para isto foi necessário confeccionar tubos e suportes específicos para cada ponto.

Para se escolher o melhor local para se instalar a repetidora foi necessário verificar a existência de um ponto de alimentação próximo.

A proposta inicial para o projeto piloto foi a aquisição, entre os nós, via Spread Spectrum e posteriormente se fazer uma centralização via linha telefônica. Esta configuração seria repetida para cada central local.

A comunicação entre os nós foi feita usando a técnica *Frequency Hopping Spread Spectrum* (faixa de frequência entre 902 e 928 MHz). O motivo para ter sido usado este tipo de comunicação foi devido ao fato de estarem disponíveis para os ensaios apenas equipamentos FHSS. Acredito que equipamentos DSSS teriam um desempenho semelhante.

4.6 - Visão geral para telemetrização de hidrômetros

A figura abaixo retrata bem o projeto desenvolvido. As leituras foram extraídas e transmitidas de 4 pontos para uma central local onde um software poderá fazer o processamento do sinal. Repare que existe um repetidora de sinal, a qual retransmite os sinais para a central local.

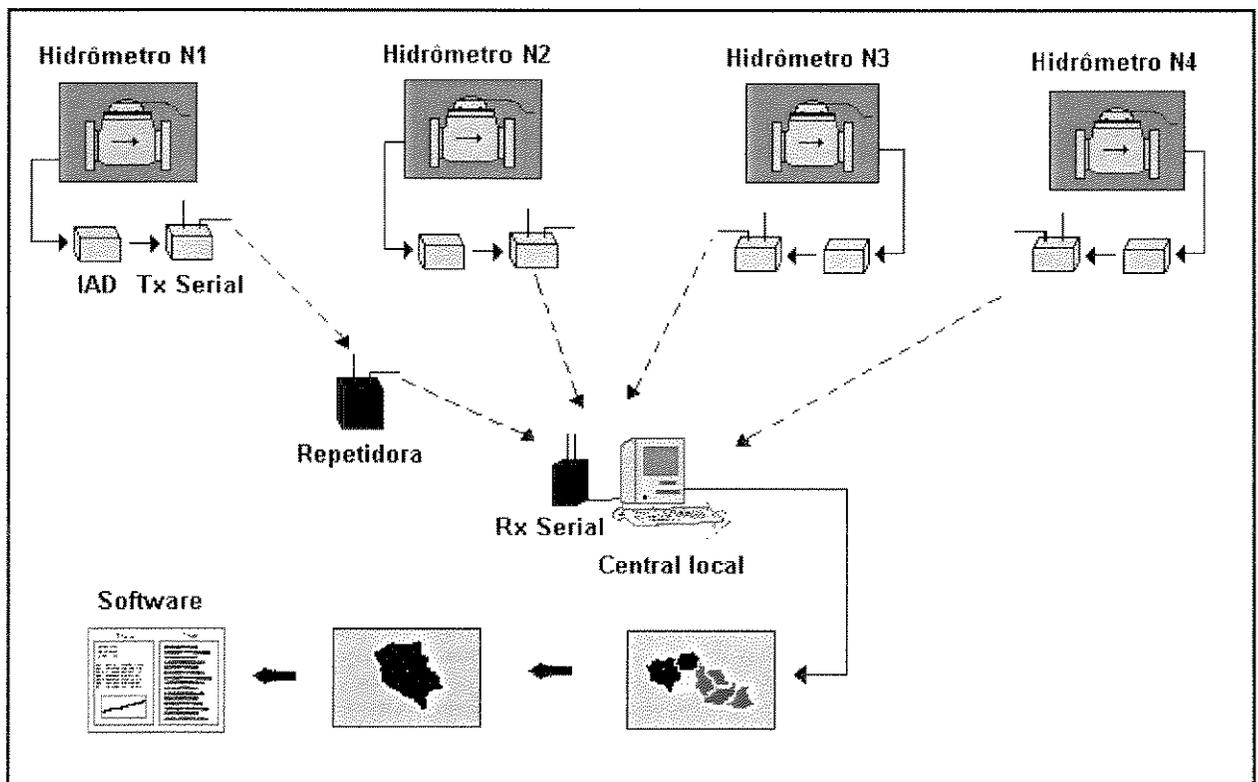


Fig.(4.5) – Visão geral do projeto piloto.

4.6.1 - Coletor de Dados e Transmissor

O coletor de dados e o transmissor serão responsáveis pela transmissão dos dados adquiridos dos hidrômetros, de um determinado ponto até uma “Hub” Local, onde serão armazenados, processados e retransmitidos para a Central de Operação e Controle.

Suas características principais são:

- Baixa potência de transmissão.
- Baixo consumo.
- Não interferem em outros sistemas.
- Podem ser monitorados quanto ao seu próprio estado de funcionamento (nível de carga da bateria, nível do sinal de transmissão, inatividade e violação).

4.6.2 - Aquisição do sinal

O hidrômetro utilizado é diferente dos convencionais, entre outras coisas, devido ao fato de possuir um sensor eletromagnético ou óptico.

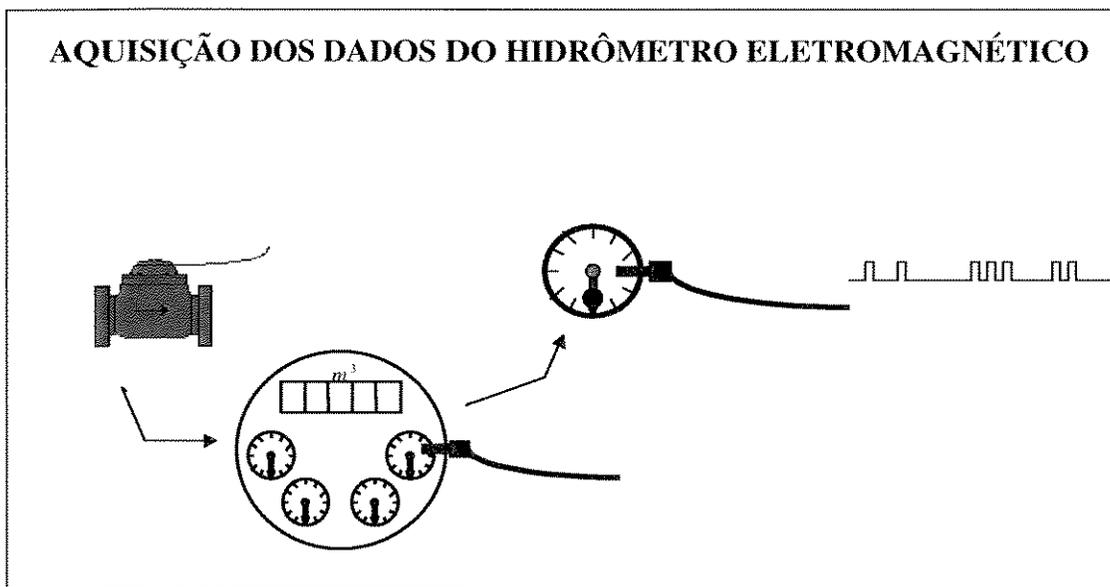


Fig.(4.6) – Aquisição do sinal.

Repare que a figura acima mostra como o hidrômetro interpreta a leitura. Este equipamento, além de mostrar a medida no seu visor, possui uma chave magnética (*reed-switch*) que emite pulsos quando o ímã passa por ela. De acordo com o modelo e o sensor os valores dos pulsos obtidos seguem a seguinte tabela:

Tab.(4.4) – Tipos de sensores disponíveis para os hidrômetros por modelo.

SENSOR		DN 50...DN 125 $1IMP = \eta m^3$	DN 150...DN250 $1IMP = \eta m^3$	DN300...DN500 $1IMP = \eta m^3$
REED		$1,0m^3$ ou $0,1m^3$	$10m^3$ ou $1m^3$	$100m^3$ ou $10m^3$
OPTO		$0,001m^3$	$0,01m^3$	$0,10m^3$

Os pulsos são obtidos através do contato de uma *reed-switch*, com uma resistência de $51,4\Omega$. O modelo que foi cedido pela empresa estava na faixa DN50...DN125 e tinha como sensor uma *reed-switch* e os pulsos representavam $1,0m^3$.

Os pulsos que serão dados de 0,1 em $0,1m^3$ ou de 1,0 em $1,0m^3$ deverão ser contados (na sua borda de subida), armazenados e transmitidos de acordo com uma temporização preestabelecida em um microcontrolador.

O dados então deverão ser transmitidos via Spread Spectrum. Este circuito controlará a atualização dos dados, o momento de transmissão e deixará os dados disponíveis para o transmissor.

4.6.3 - Lógica de funcionamento

O hidrômetro possuirá uma leitura inicial (**Li**) que pode ser zero por exemplo e a cada período de tempo (**Tp**) uma operação matemática será feita para atualizar a nova leitura (**Ln**) tendo como resultado a leitura atualizada (**La**).

Ou seja a cada **Tp** teremos uma leitura **La** que será transmitida.

$$\sum_{\substack{i=0 \\ j=1}}^n L_{i+1} + L_{nj} = L_{aj},$$

Logo, L_i é um valor inicial conhecido que pode inclusive ser zero. A cada nova leitura tem-se uma L_{i+1} que é a própria leitura atualizada anterior L_{aj-1} .

4.6.4 - Transmissão de dados

1. Dados que deverão ser transmitidos do hidrômetro para o microcomputador:
 - Número do hidrômetro;
 - Leitura do consumo.

Um código binário serial é transmitido para o microcomputador com o número do hidrômetro e leitura do consumo.

2. A frequência irá variar de acordo com o tipo de comunicação utilizada, conforme tabela abaixo:
-

Tab.(4.5) – Freqüência de transmissão.

Tipo de comunicação	Freqüência (minutos)	Média (minutos)
Linha privada	05	30
Fibra ótica	05	30
Rádio freqüência	05	30
Linha discada	30	---

4.6.5 - Instalação dos coletores de dados e transmissores seriais

O desenho abaixo reflete bem a situação encontrada no local de transmissão. Os hidrômetros estavam localizados dentro de caixas de alvenaria com tampa metálica. Para melhorar a transmissão foi idealizada a modificação da posição de transmissão. Uma haste de pelo menos 4 metros com a caixa contendo o transmissor foi a melhor solução encontrada. A haste poderia ser inclusive colocada dentro do muro.

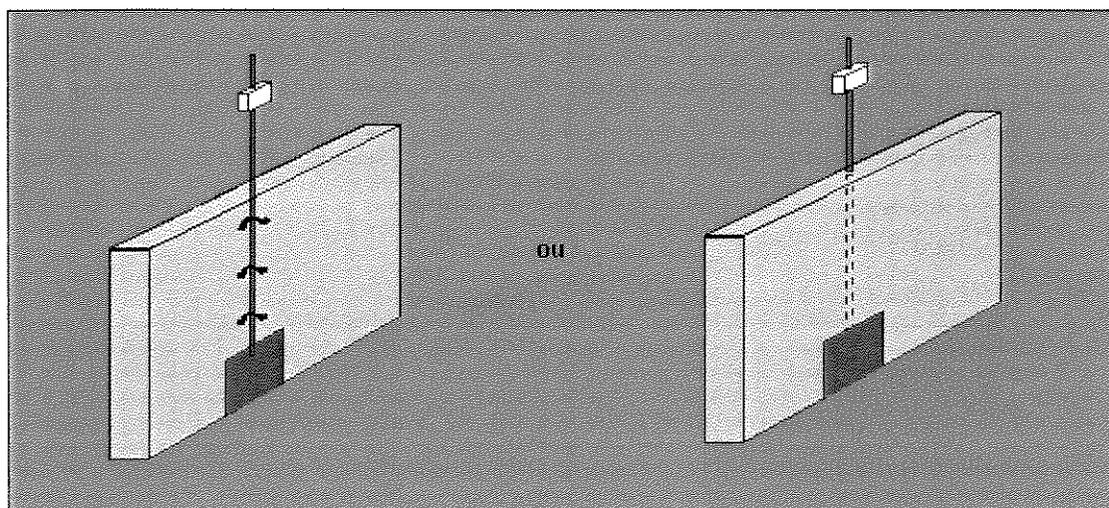


Fig.(4.7) - Instalação dos coletores de dados e transmissores seriais.

4.6.6 - Centrais Repetidoras de Sinal

Para que os dados transmitidos de cada ponto (hidrômetro) chegue até a central local é necessário que se faça uso de um equipamento chamado repetidora de sinal. Além de garantir que o sinal chegue ao seu destino a repetidora permite que se abranja uma área muito maior. A associação de várias repetidoras permite que se amplie o sistema.

4.6.7 - Instalação das centrais repetidoras

A repetidora de sinal talvez seja a peça mais importante no sistema. A sua localização tem que ser muito bem estudada. Hoje em dia já existem programas que fazem análise da topografia de uma área e auxiliam na determinação dos melhores pontos para a instalação de

uma repetidora. Estes programas fazem estudos das posições de transmissão e recepção e com base em cálculos matemáticos auxiliam na determinação do melhor local, contudo ainda substitui totalmente as medidas feitas no local.

Para o sistema em particular, foi selecionado um ponto de visada com os locais de transmissão. Uma torre de 6m de altura e um poste de iluminação serviram para o projeto.

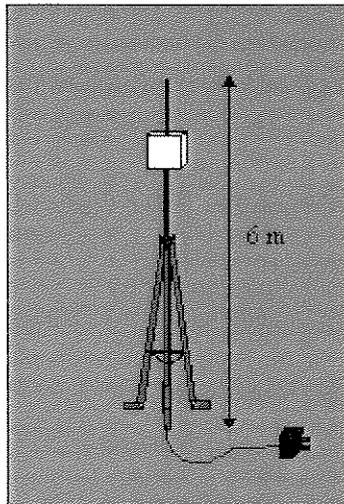


Fig.(4.8) - Instalação das centrais repetidoras.

4.6.8 - Central Receptora

A central receptora é o equipamento que receberá os dados de toda a rede e os disponibilizará para processamento posterior. A central receptora tem uma interface serial RS-232 e fica conectada a um PC. O melhor local para sua instalação é na região mais próxima do “centro” da rede do sistema. Na prática a escolha do melhor lugar para sua instalação requer que se faça leitura de campo. O deslocamento do ponto de recepção para melhorar a visada com os pontos de transmissão é outro fator importante. Como no caso dos transmissores e repetidoras é importante que se use torres ou hastes para elevar o ponto de recepção.

4.6.9 – Especificação do Software

Há dois tipos de software envolvidos no sistema: os embutidos nos coletores de dados e o responsável pelo controle da rede.

Após a aquisição o primeiro software é encarregado de fazer o processamento e formatação dos dados que serão transmitidos.

A proposta é que o software responsável pelo controle da rede tenha disponível um mapa da região com ícones associados para acesso rápido às informações de cada cliente: endereço, consumo instantâneo, consumo acumulado, médias, etc.

Carga inicial:

Do sistema comercial atual serão necessários os seguintes dados:

- Tabela de capacidade do CPH.
- Número do hidrômetro.
- Data da instalação.
- Data de manutenção.
- 6 últimos consumos.
- Tipo de hidrômetro (eletrônico ou não).
- Nome da empresa.
- Endereço.
- RGI.
- 6 últimos valores cobrados, separados por água e esgoto.
- Economias, quantas e tipo.
- TL e
- Codificação SABESP.

As unidades de negócios deverão fornecer os seguintes dados:

- Volume consumido de fonte própria.
- Volume de pressão.
- Pressões do setor de abastecimento.
- Setor.
- Dados de efluentes / redes de esgoto (TL).
- Zona de pressão e
- Consumidores que tenham cometido fraude nos últimos 6 meses e qual tipo de fraude.

As unidades de cadastro técnico deverão fornecer os seguintes dados:

- Diâmetro da rede e
- Tipo de material da rede.

4.7 - Resultados que o sistema deverá produzir

- Qual o consumo do hidrômetro, comparando com a faixa de utilização.
 - Período de manutenção.
 - Listagem de hidrômetro para manutenção.
 - Hidrômetro que se encontram com consumo alto ou baixo.
 - Verificação de possíveis fraudes.
 - Acompanhamento de consumidores que tenham cometido alguma fraude nos últimos 6 meses e qual a fraude praticada.
 - Qual o aumento ou diminuição de consumo / faturamento de um determinado cliente, região ou tipo de hidrômetro.
 - O sistema deverá emitir um sinal sonoro e visual quando da ocorrência de alguma irregularidade, dando a opção ao operador de cancelar o sinal ou analisar por tipo de
-

ocorrência ou cliente. Os resultados devem estar disponíveis para pesquisa on-line (gráficos), tabelas ou relatórios. As ocorrências deverão estar agrupadas por clientes, tipo de ocorrência, duração frequência e quando ocorrerem (data e hora). Deverá permitir pesquisa de dados atuais e históricos por cliente, ocorrência e tipo de hidrômetro, parametrizados em data, hora ou todos os dados.

4.8 - Projeto piloto de telemetrização de hidrômetros

4.8.1 - Objetivos

1. Implementar um sistema de telemetria que extraísse os dados provenientes de 4 pontos de transmissão.
2. Desenvolver leituras do nível de sinal para os pontos definidos e comprovação da aplicabilidade da técnica de espalhamento espectral.
3. Avaliar a instalação dos equipamentos, bem como a aplicação de técnicas que permitissem a otimização do sistema para este tipo de instalação.

Este é um exemplo do funcionamento do SS em um ambiente densamente urbanizado. Outro fator importante é que se trata da região com o espectro de frequência mais congestionado do país.

4.8.2 - Diagrama

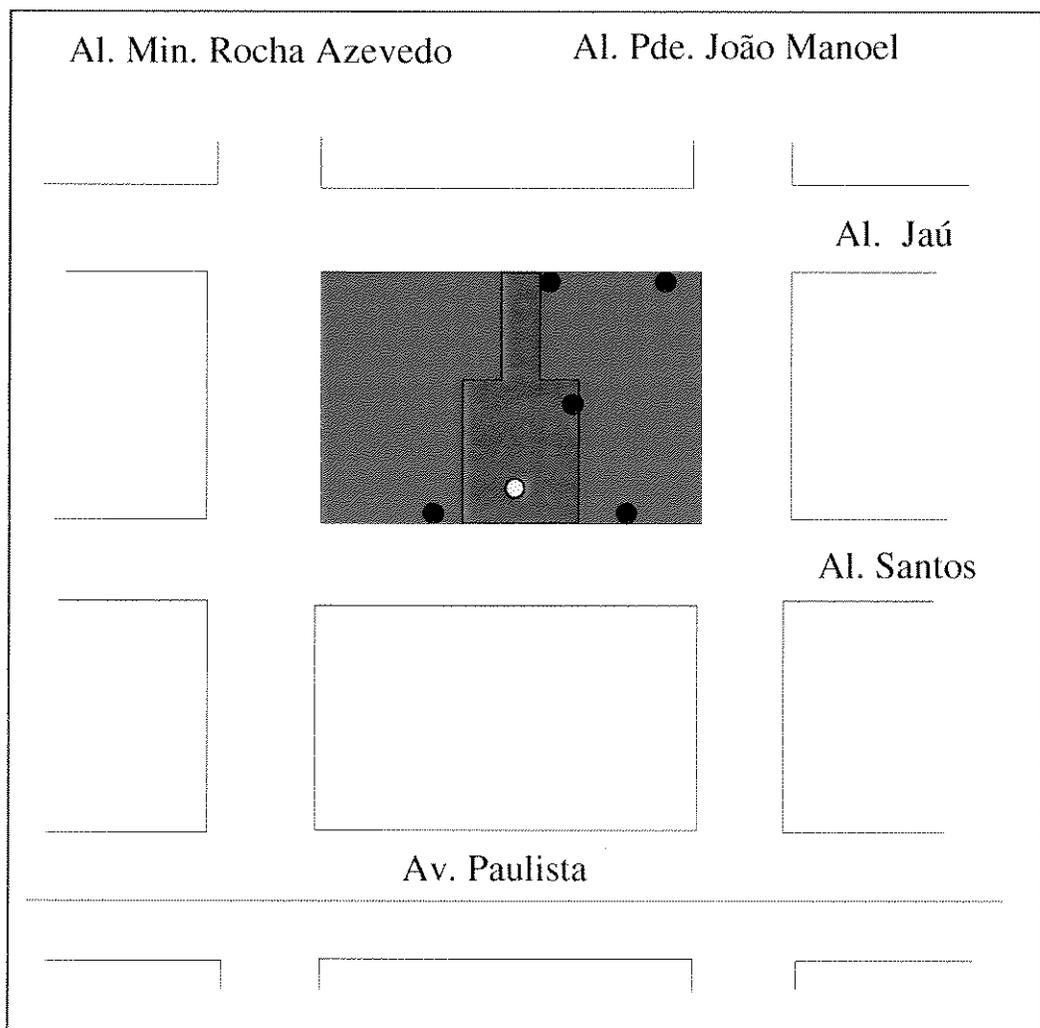


Fig.(4.9) – Diagrama.

4.8.3 - Visão geral

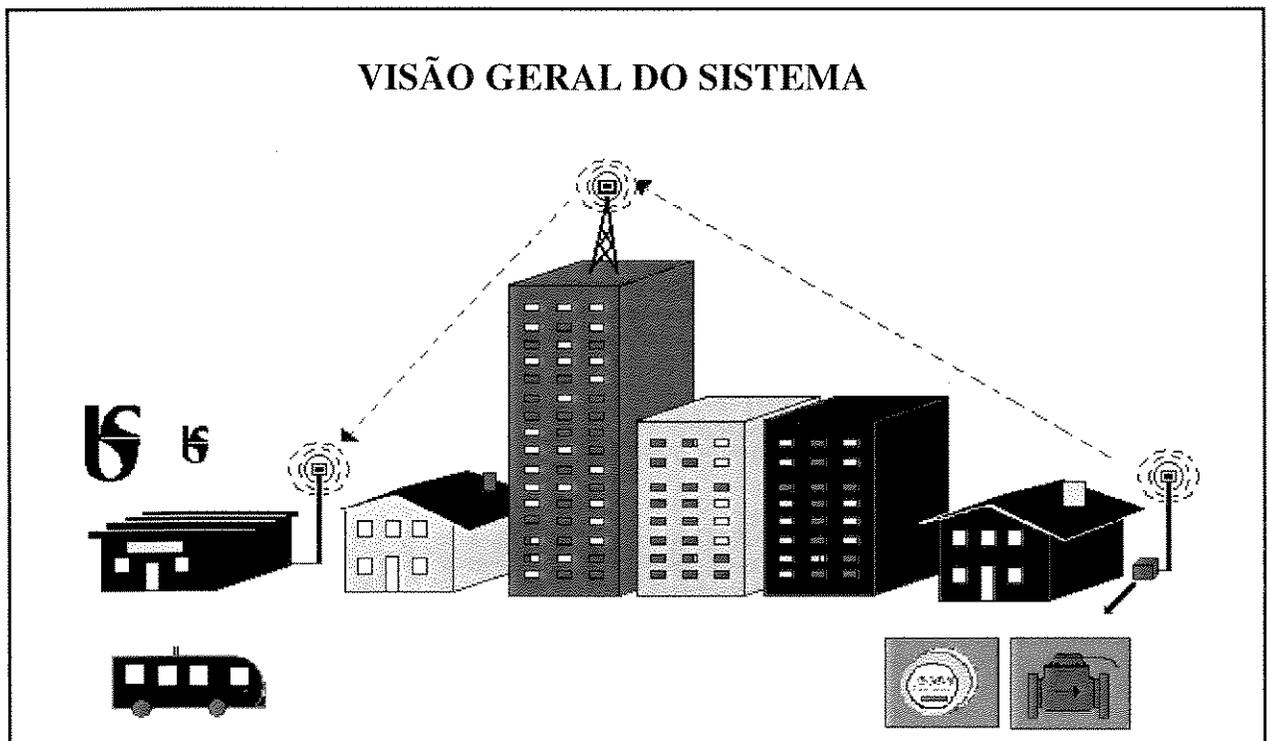


Fig.(4.10) – Visão geral do sistema.

4.8.4 - Condições dos testes

Local: Centro de São Paulo , Al. Santos.

Data do Início: 19/02/97

Término: 19/02/97

Hora: 10:00 - 18:30

Temperatura Local: 25°

Dispositivos utilizados:

Tab.(4.6) – Dispositivos utilizados [23].

Equipamento	Quantidade
Central Repetidora FA525	1
Central Receptora FA416	1
Transmissor Portátil FA203	1
Transmissor universal FA210	2
Transmissor universal FA250	1
Programador FA116	1

Obs.: Todos os equipamentos são de fabricação da empresa Americana *Inovonics Co.* e foram gentilmente cedidos pela empresa *Josaphat Engenharia Ltda.*

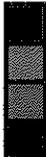
4.8.5 - Procedimento

Os testes foram desenvolvidos com dispositivos que utilizam a técnica de espalhamento espectral *Frequency Hopping*.

- Foi determinado o ID (código) do sistema através do dispositivo programador FA116.
- Os transmissores e receptores foram preparados (receberam códigos de identificação).
- Foi avaliado o funcionamento dos transmissores e receptora.
- Foi medido o nível de sinal.

4.8.6 - Critério para definição do margem do sinal

A figura abaixo ilustra bem a condição do sinal com relação a sua margem.

-  O margem do sinal foi considerado muito fraco quando esteve inferior a 3 dBm.
-  Enfraquecido quando inferior a 8dBm.
-  Bom quando entre 8 e 16dBm.
-  Forte quando acima de 16 dBm (limite 33dBm).

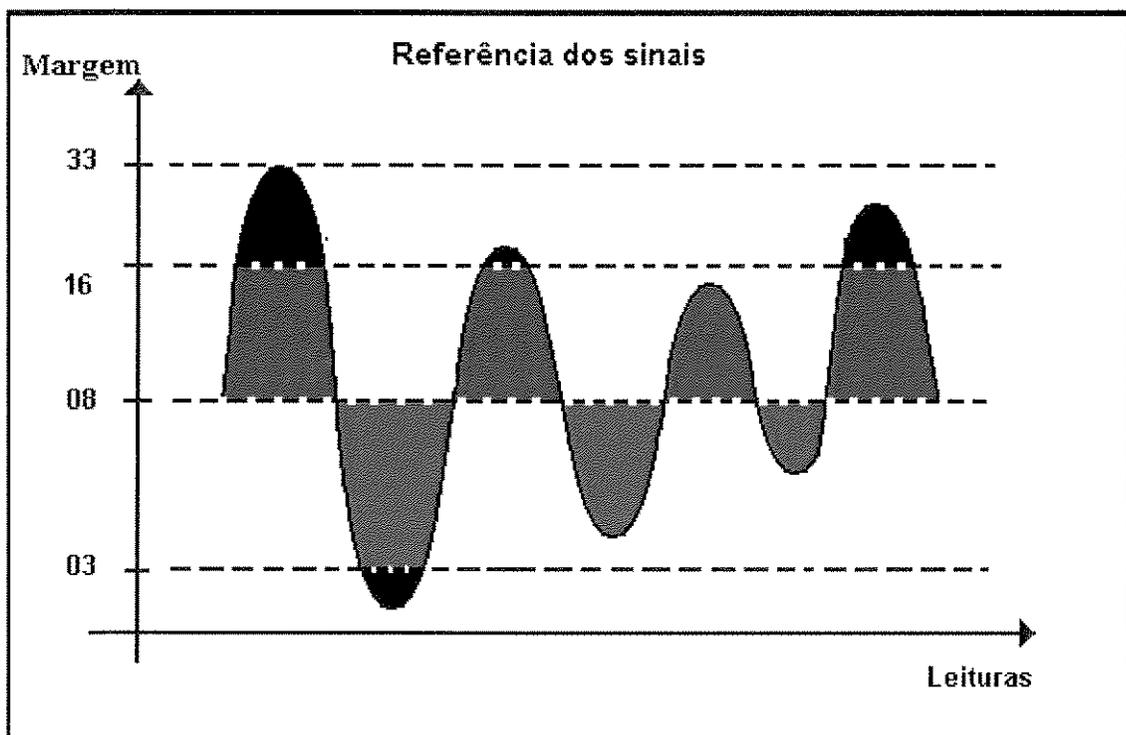


Fig.(4.11) – Referências dos sinais.

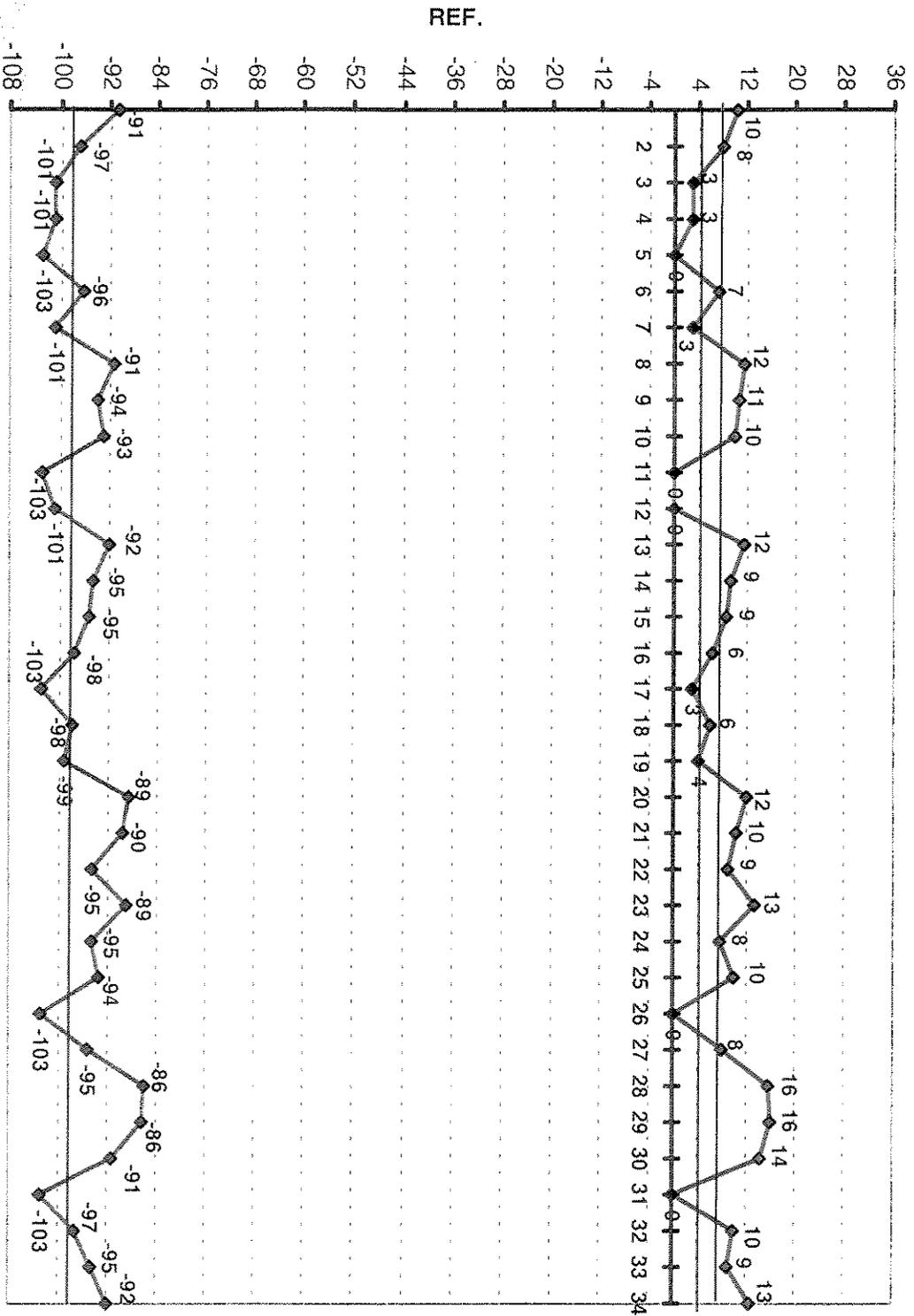
4.8.7 - Resultados

Tab.(4.7) – Resultados apresentados pelo projeto piloto.

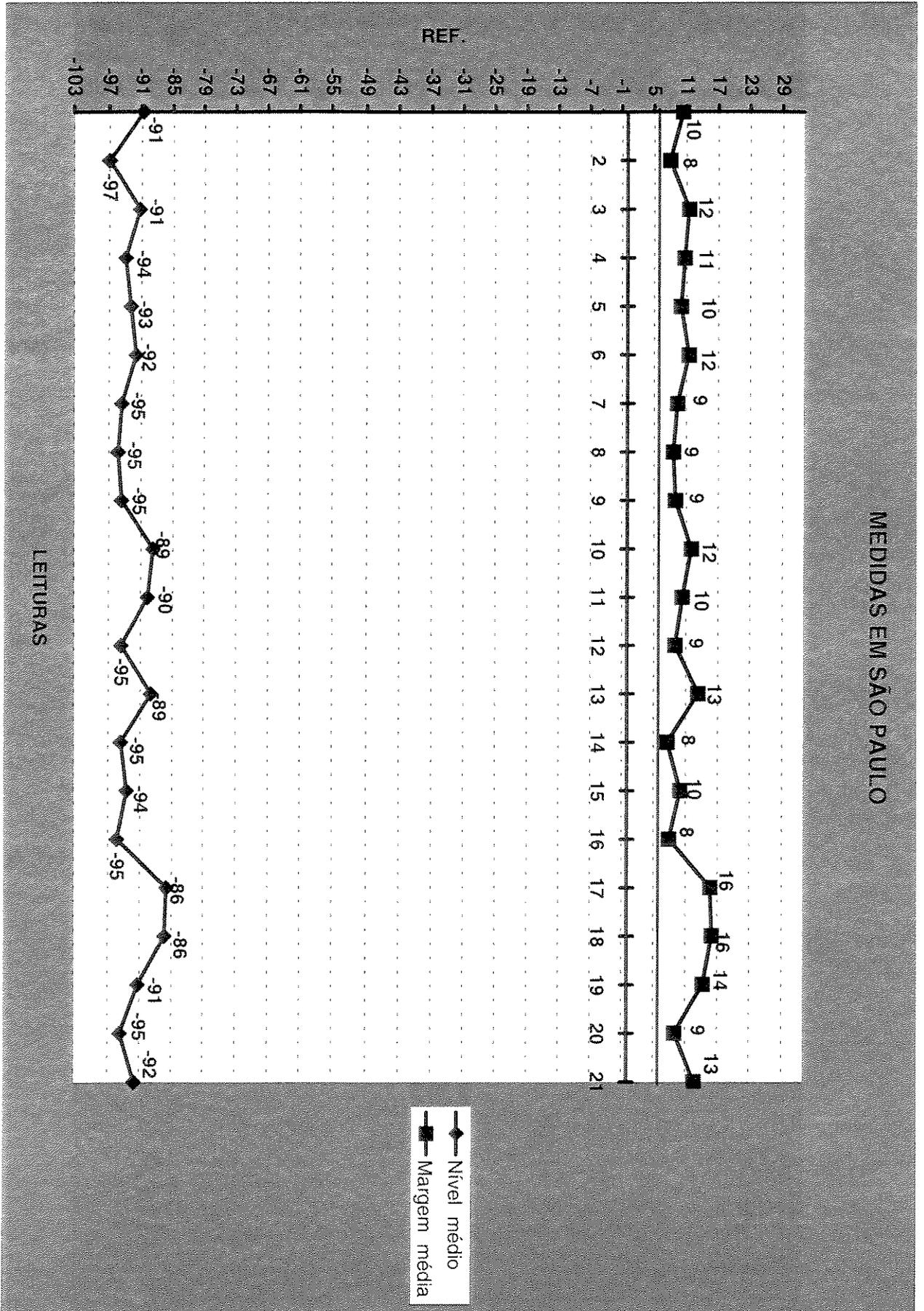
Leitura	Referência	Point Status									Nível médio	Margem média
		Sinal			Nível			Margem				
1	Portão Sabesp	G	W	I	-82	-93	-97	13	11	7	-91	10
2	Portão Sabesp	G	W	I	-96	-98	-97	8	8	-	-97	8
3	H1 - Dentro do abrigo	G	W	I	-101	-	-101	3	-	3	-101	3
4	H1 - Dentro do abrigo	G	W	I	-	-	-101	-	-	3	-101	3
5	H1 - Dentro do abrigo	G	W	I	-	-	-	-	-	-	-103	0
6	Esquina do H1	G	W	I	-96	-96	-97	8	7	7	-96	7
7	Esquina do H1	G	W	I	-101	-	-	3	-	-	-101	3
8	H2 - Fora do abrigo	G	W	I	-91	-93	-90	13	10	-	-91	12
9	H2 - Fora do abrigo	G	W	I	-94	-	-	8	11	13	-94	11
10	H2 - Fora do abrigo	G	W	I	-93	-	-	10	-	-	-93	10
11	Esquina do H2	G	W	I	-	-	-	-	-	-	-103	0
12	Esquina do H2	G	W	I	-101	-101	-	-	-	-	-101	0
13	Link quina do lote p/ sala	G	W	I	-91	-93	-	12	11	-	-92	12
14	Link quina do lote p/ sala	G	W	I	-93	-94	-97	11	10	7	-95	9
15	Portão Sabesp	G	W	I	-93	-96	-97	11	8	7	-95	9
16	H1 - Fora do abrigo	G	W	I	-92	-96	-96	11	8	8	-95	9
17	H1 - Dentro do abrigo	G	W	I	-103	-103	-	3	3	-	-103	3
18	H2 - Dentro do abrigo	G	W	I	-101	-96	-97	3	8	7	-98	6
19	H2 - Dentro do abrigo	G	W	I	-101	-99	-98	3	3	6	-99	4
20	H2 - Fora + do abrigo	G	W	I	-85	-91	-90	13	11	12	-89	12
21	Esquina do H3	G	W	I	-86	-90	-93	12	12	7	-90	10
22	Esquina do H3	G	W	I	-95	-94	-95	11	8	8	-95	9
23	H3 - Fora do abrigo	G	W	I	-91	-89	-87	12	13	15	-89	13
24	H3 - Fora do abrigo	G	W	I	-90	-96	-98	10	7	6	-95	8
25	H3 - Fora do abrigo	G	W	I	-96	-91	-	7	13	-	-94	10
26	H3 - Dentro do abrigo	G	W	I	-	-	-	-	-	-	-103	0
27	Esquina do H2	G	W	I	-95	-94	-97	8	8	8	-95	8
28	H2 - Fora do abrigo	G	W	I	-82	-88	-88	13	16	18	-86	16
29	H2 - Fora do abrigo	G	W	I	-86	-91	-82	17	13	18	-86	16
30	H2 - Fora do abrigo	G	W	I	-89	-91	-94	18	13	12	-91	14
31	H1 - Dentro do abrigo	G	W	I	-	-	-	-	-	-	-103	0
32	H2 - Dentro do abrigo	G	W	I	-96	-98	-98	8	16	6	-97	10
33	H2 - Fora do abrigo	G	W	I	-96	-95	-93	8	11	8	-95	9
34	H2 - Fora do abrigo	G	W	I	-93	-92	-91	11	13	14	-92	13

Obs.: A tabela de resultados seguem a seguinte terminologia: G é *Good* (sinal bom), W é *Weak* (sinal fraco) e I é *Inactive* (sinal não recebido).

MEDIDAS SÃO PAULO



Nível medio
 Margem media



4.9 – Resultados e conclusões finais

Considerações:

- O nível do sinal foi medido, inicialmente, usando transmissores com 10mW de potência.
- A área onde as medidas foram efetuadas é densamente urbanizada e o espectro de frequência é um dos mais congestionados do país.
- Foram feitas alterações na parte física das instalações.

As medidas de campo foram desenvolvidas em três etapas:

- A primeira etapa teve como objetivo medir o nível do sinal dentro das caixas, estas com tampas metálicas.
- Na segunda etapa as medidas foram feitas com os transmissores fora das caixas.
- A etapa seguinte foi estudar os melhores pontos de recepção entre o hidrômetro (TX) e a repetidora ou receptora.

Os sinais estavam em níveis satisfatórios para a maioria dos pontos, contudo alguns procedimentos foram tomados para melhorar o nível do sinal em todos os pontos. Além de alguns hidrômetros estarem fechados dentro de caixas de alvenaria, a porta metálica destas caixas faziam um “espelho” para o sinal causando um desvanecimento do mesmo. Para contornar esta situação foi idealizado um meio simples, mas necessário, para melhorar o nível dos sinais. Um tubo metálico saindo de dentro da caixa e alcançando uma altura maior ou igual a 4m foi a solução encontrada para que se tivesse uma “visada” melhor entre os transmissores, a repetidora e o receptor.

O fortalecimento da transmissão permitiu um alcance maior do sinal e por sua vez a diminuição do número de repetidoras. A alteração da potência da repetidora é outra importante forma de aumentar a área de cobertura do sinal. Esta potência pode ser elevada para até 1w com o uso de amplificadores.

Estão disponíveis as bibliografias das normas Brasileiras para espalhamento espectral [26] e também do tipo de amplificador (2515L) selecionado para esta aplicação [24].

Em algumas situações mais críticas pode-se fazer um deslocamento do ponto de transmissão (além da elevação) e/ou amplificação do sinal do transmissor. Em último caso o uso de repetidoras adicionais também é uma solução, porém, mais cara.

O conceito é semelhante ao usado em WLL - *Wireless Local Looping* (tipo de acesso usado em telefonia fixa), contudo todos os pontos de transmissão são fixos e transmitem dados e não voz.

O objetivo deste trabalho foi adquirir aprendizado da técnica de espalhamento espectral (Spread Spectrum) e estudar sua aplicabilidade para sistemas de telemetria. Procurei

apresentar as características singulares do SS e enriquecer o trabalho com o máximo de informações relevantes.

Existe a possibilidade se ter uma rede de dimensões maiores que cubram bairros e até cidades. Estas redes poderiam extrair dados de medidores de energia elétrica, gás e água possibilitando uma automação destas respectivas leituras e um maior conhecimento e controle do sistema.

Os resultados práticos do emprego do Spread Spectrum foram satisfatórios e a proposta de se usar esta tecnologia para esta finalidade foi certamente bem sucedida. A sua aplicação para sistemas maiores necessitará de maiores estudos da performance à medida que houver um aumento dos mesmos, porém acredito ser a melhor, mais prática e menos onerosa opção para aplicação em telemetria.

Outra possibilidade é fazer uma leitura destes medidores através de um veículo que percorreria as imediações dos pontos de aquisição dos dados. Neste caso deixaria de ser necessário o uso de repetidoras de sinal mas a leitura seria feita com o uso de um veículo que passaria próximo aos pontos de transmissão coletando os dados periodicamente (não seria mais *on-line*).

Espero que este trabalho contribua para futuras consultas e estudos e também que desperte o interesse e a criatividade das pessoas envolvidas na área. Com certeza nós teremos, em pouco tempo, cada vez mais novidades usando esta forma de transmissão [8].

Bibliografia

- [1] Yacoub, M.D., Foundations of Mobile Radio Engineering, São Paulo, 1993.
 - [2] Dixon, R. C., Spread Spectrum Systems with Commercial Applications, New York, 1994.
 - [3] Haykin, S., Communication Systems, New Baskerville, 1994.
 - [4] Feher, K., Wireless Digital Communications, New Jersey, 1995.
 - [5] The American Radio Relay League., The Arrl Spread Spectrum Sourcebook, USA, 1991.
 - [6] Couch, L.W., Modern Communication Systems Principles and Applications, New Jersey, 1995.
 - [7] Telemetry System Design -Frank Carden,1996.

 - [8] Yacoub,M.D. e Waldman, H.,Telecomunicações Princípios e Tendências, São Paulo, 1997.
 - [9] RNT - Revista Nacional de Telecomunicações - Tudo o que você queria saber sobre CDMA, n°208
A - Dezembro/96
 - [10] Manuais do sistema SCADA da Motorola - MOSCAD
 - [11] James Vincent, GIPVZ, Spread Spectrum Voice Link, worldwide Spread Spectrum / Wireless community, Sept. and Oct. 1993 - <http://www.sss-mag.com/home/andyrf/pastissues/vol3num2/ssvl.html>
 - [12]The ABCs of Spread Spectrum ,Review of Dr. Andrew Viterbi's new CDMA Text SOLECTEK / Dr. J. Y. C. Cheah's Tech Tips IEEE Communications Society / Dr. Raymond Steele's "The Evolution of Personal Communications" GRE America / GRE's Spread Spectrum Radio Application Notes - SSS magazine - <http://www.sss-mag.com/ss.html>
 - [13] Spread Spectrum Primer Virginia Polytechnic Institute's Spread Spectrum Introduction - SSS magazine- <http://www.sss-mag.com/primer.html>
 - [14] Non-Cellular Wireless Communication System, Jacobus Petrus Franciscus Glas - 5 December 1996 Thesis from the Technische Universiteit Delft - <http://cas.et.tudelft.nl/~glas/thesis/main-text.htm>
 - [15] A Spread Spectrum Packet Radio Network, Thesis from Darryl Robert Smith Outumn, 1995, <http://www.tapr.org/ss/smith/>
 - [16] California Microwave Data System, SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), Telemetry Systems, Oil/Gas Fields and Pipelines, Traffic Monitoring, Distribution Automation, Multiple Address Communications, Railroad Communications Systems - http://www.mdsroc.com/mds_site/pt_mpt_lic_pro ducts.html
 - [17] Amateur Radio Spread Spectrum, From Digital Communications, column by Harold E. Price, NK6K, from QEX, October 24, 1996 - <http://www.tapr.org/ss/>
 - [18] About CDMA/Spread Spectrum, Sirius Communications NV -<http://www.sirius.be/Aboutspr.htm>, <http://www.sirius.be/Applic.htm>
 - [19] The Principles of Spread Spectrum Communication, Circuits and Systems Publication - August 29, 1996 by Jack Glas - <http://olt.et.tudelft.nl/~glas/ssc/techn/techniques.html>
-

- [20] Wireless Digital Communication, A View Based on Three Lessons Learned, Andrew J. Viterbi
QUALCOMM, Inc., Last updated: 7 July,1997. http://www.qualcomm.com/people/pkarn/viterbi_lessons.htm
- [21]The Amateur Radio Spread Spectrum Communications Page last modified January 4, 1996.
<http://www.sp.nps.navy.mil/ss/>
- [22] Unitec International Controls Corp. is a publicly traded Canadian company engaged in
engineering, manufacturing and installation of advanced technology SCADA Systems, Last updated
July 7, 1997 -<http://www.unitec.ca/>
- [23] Inovonic Corporation web page - <http://www.almexltd.com/inovonic/>
- [24] Radio Frequency Micro Devices - 1997 On-line Designer's Handbook (Catalog including all Data
Sheets and Technical Papers <http://www.rfmd.com/>
- [25]APD-Async Professional per Delphi, Toolkit di comunicazione seriale per Delphi -
<http://www.borita.it/apd2.htm>
- [26]Portaria N° 46, de 29 de Janeiro de 1993 - Ministério das Comunicações.
- [27]Dicionário da Língua Portuguesa : <http://www.priberam.pt/scripts/dlpcgi.dll?Command>
-