

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
OBSERVATÓRIO DO VALONGO

radiotelescópio na faixa de 110 MHz

Autores do Projeto:

- José Luiz Monteiro do Vale
- Luiz Claudio Lima Botti

Orientador:

- Jorge de Albuquerque Vieira

RIO DE JANEIRO - 1979

À

REGINA OCIREMA

(que nos fez calar a boca e
nos pôs a trabalhar).

E AOS FUNCIONÁRIOS DO OBSER
VATÓRIO DO VALONGO QUE NOS AJU
DARAM A CONSTRUIR A NOSSA
ANTENA.

ÍNDICE

- I - INTRODUÇÃO
- II - O COMEÇO E O DESENVOLVIMENTO DA RADIOASTRONOMIA
- III - ANTENAS
 - III.1. - Aspectos Gerais
 - III.2. - Elementos Parasíticos
 - III.3. - Parâmetros de uma Antena
 - III.4. - Figura de Antena - Diagrama Polar
 - III.5. - Razão Frente/Atrás : F/A
 - III.6. - Interferômetro
- IV - LINHAS DE TRANSMISSÃO
 - IV.1. - Tipos
 - IV.2. - Impedância de uma linha de transmissão
- V - RECEPTORES DE RADIOTELESCÓPIOS
 - V.1. - Aspectos Gerais
 - V.2. - Formas de Sintonização
 - V.3. - Detecção e Detetores
 - V.4. - Integração
- VI - PROJETO EM RADIOASTRONOMIA EXPERIMENTAL
 - VI.1. - Introdução
 - VI.2. - Equipamentos Básicos
 - VI.3. - Projeto e Construção de um Radiotelescópio
 - VI.4. - Testes a serem efetuados com os Componentes do Radiotelescópio.
- VII - CONCLUSÃO
- VIII - BIBLIOGRAFIA
 - . Apêndice I, Apêndice II
- IX - GLOSSÁRIO DE TERMOS TÉCNICOS

1 - INTRODUÇÃO

Como indica o nome, a Radioastronomia envolve duas ciências ou, o que seria melhor, uma tecnologia utilizada para a obtenção de matéria-prima necessária às análises matemática e física. Estas matérias-primas são os dados coletados pelo radiômetro ou radiotelescópio.

Durante todo o nosso curso de Radioastronomia, no Observatório do Valongo, aprendemos mais a manejar dados obtidos por outros observatórios, nos atendo pouco ao processo envolvido na coleta de informações.

No intuito de compreender, passo a passo, todos os mecanismos envolvidos na obtenção dos dados radioastronômicos que analisávamos, passamos algum tempo estudando cada uma das partes de que é composto um radiotelescópio e terminamos a nos apaixonar pela possibilidade de montar uma pequena estação radioastronômica.

Neste sentido, passamos a nos preocupar com os componentes que poderíamos encontrar no mercado nacional e que estivessem ao alcance de nossas possibilidades financeiras. Tínhamos vários projetos de radiotelescópios para amadores, mas, infelizmente, todos estrangeiros e nenhum possuía todas as peças encontráveis no mercado. Acabamos por optar por uma "hibridação" de radiotelescópios com componentes construídos, montados ou adquiridos por nós.

A felicidade na obtenção do resultado final está mais fortemente condicionada às dificuldades envolvidas na elaboração e montagem da pequena estação do que atingir um nível que, por dificuldades outras, tais como localização das unidades ou preço excessivo, tornasse frustrante qualquer tentativa. Tentamos manter durante o projeto uma atitude realista. Contudo, muitas vezes, pecamos por excesso de otimismo e outras tantas por pessimismo. Cientes desse processo, o que apresentamos apesar de todo o esforço que lhe foi devotado - pretende apenas servir de incentivo, despertando para

o estudo e a pesquisa e conscientizando sobre a necessidade de evolução e acompanhamento do desenvolvimento da metodologia em Radioastronomia.

Talvez, novamente pecando por otimismo, acreditamos que abrimos alguma porta, no sentido de se criar uma Radioastronomia Experimental, onde o aluno pudesse "ver" os conceitos teóricos ensinados no curso regular.

Rio de Janeiro, 24 de outubro de 1979

J. L. M. VALLE

L. C. L. BOTTI

II - O COMEÇO E O DESENVOLVIMENTO DA RADIOASTRONOMIA

Em 1894, seis anos depois que Hertz produziu as primeiras ondas de rádio em laboratório, Sir Oliver Lodge, acreditando que a radiação vinda do Sol extendia-se para além do espectro visível, disse em uma conferência diante da Royal Institution Of Great Britain, "Eu espero tentar para a radiação solar de grandes comprimentos de onda, filtrar aquelas ordinariamente bem conhecidas através de um quadro-negro ou de outra substância suficientemente opaca". Mais tarde ele tentou o experimento na Universidade de Liverpool, onde era professor de física. Suas tentativas foram infrutíferas e assim concluiu, "Existem, evidentemente, várias fontes de distúrbios numa cidade como Liverpool para tornar o experimento inviável. Eu não sei se isso teria possibilidade de sucesso em algum lugar isolado, mas claramente os arranjos devem ser altamente sensíveis com o fim de ser bem sucedido". Sir Oliver Lodge claramente previu a possibilidade de ondas de rádio serem emitidas de fontes astronômicas como o Sol, e também a necessidade de escolher lugares de observação livres de interferência.

Nordman, na França, também não obteve sucesso e em seus relatos se refere aos experimentos de Wilsing e Scheiner na Alemanha. Todas essas primeiras tentativas falharam porque os artefatos e conhecimentos eletrônicos não tinham avançado suficientemente para garantir o sucesso.

Ironicamente trinta anos mais tarde as ondas de rádio de fontes astronômicas foram descobertas incidentalmente de um estudo das interferências atmosféricas nas comunicações via rádio.

Em 1931, Karl G. Jansky, um engenheiro na Holmdel, New Jersey, localização de campo do Bell Telephone Laboratories, fazia experiências para estudar os rádio-distúrbios atmosféricos. Para esse fim, Jansky, construiu uma antena do tipo cortina de Bruce com um feixe unidimensional verticalmente polarizado.

A antena de aproximadamente 30,5 m de comprimento por 3,6 m de altura, foi montada em quatro rodas que corriam em um trilho horizontal circular de modo que assim podia girar em azimute.

Um motor sincronizava a estrutura para esta dar uma revolução em cada 20 minutos. Operando no comprimento de onda de 14,6m (20,5 MHz), a antena foi conectada a um receptor sensível com a potência deste conectada por sua vez a um registrador gráfico com constante de tempo grande.

Em uma publicação de dezembro de 1932 intitulada Proceedings of the Institute of Radio Engineers, Jansky reportou os seus primeiros resultados com seu equipamento. Ele foi capaz de distinguir tres grupos de estática, sendo que dois deles eram perfeitamente identificáveis e um terceiro que ele designou como tendo origem desconhecida. Quando sua discussão acerca deste terceiro tipo de estática, Jansky declarou que ele produziu uma espécie de silvo nos fones, dificilmente distinguido daquele produzido pelos outros dois tipos. A direção de chegada dessa estática mudava gradualmente ao longo do dia descrevendo quase um círculo, num período de 24 horas. Mais adiante completa, "este tipo de estática foi definitivamente reconhecida em janeiro último (1932). Antes desta data foi considerada meramente como interferência de portadoras não moduladas". Por causa do efeito de 24 horas, ele especulou que a nova estática deveria ser associada de alguma forma ao Sol.

Contudo, numa publicação de outubro/1933, intitulada Electrical Disturbances Apparently of Extraterrestrial Origin, ele indicou que observações adicionais "levaram à conclusão que a direção de chegada dessas ondas está fixada no espaço, isto é, que as ondas vêm de alguma fonte fora do sistema solar. Os cálculos deram aproximadamente a posição do centro de nossa Galáxia, levando-se em consideração os erros de cálculos.

Assim, se uma data deve ser tomada para o início da Radioastronomia, esta deve ser janeiro/1932, quando Jansky reco -

nheceu que as interferências recebidas eram de caráter extra-terrestre.

Em 3 de julho de 1935 na Summer National Convention of Institute of Radio Engineers, em Detroit, Michigan, Jansky correlaciona as radiações rádio com várias partes da estrutura da Via Láctea. Provavelmente é correto dizer que esta foi a primeira publicação em radioastronomia. Embora historicamente esta tenha sido uma ocasião muito significativa, foi tratada com pouca atenção bastando dizer que apenas duas dúzias de pessoas estavam na audiência enquanto Jansky falava.

Jansky propôs que para o progresso da radioastronomia seria necessário a construção de grandes antenas com feixes que pudessem ser apontados facilmente em qualquer direção desejada. De fato, ele até propôs a construção de uma antena com espelho parabólico de 30,5m de diâmetro para uso de comprimentos de onda da ordem do metro. Contudo não obteve apoio para esse propósito e a radioastronomia teve sua fase de estagnação.

Em 1937, Grote Reber um engenheiro de rádio, morando em Wheaton, Illinois, ficou interessado no trabalho de Jansky e construiu uma antena parabólica refletora de 9,3m de diâmetro no jardim de sua residência. Esta antena foi montada como um instrumento de trânsito meridiano. Na primavera de 1939, Reber obteve indicações definitivas de radiação no comprimento da onda de 1,87m (160 MHz), o qual mostrava uma concentração marcante no plano da Galáxia, e assim publicou seus primeiros resultados em 1940. Enquanto continuamente aprimorava seu equipamento, Reber tomou a seu cargo um levantamento sistemático do céu e em 1944 publicou os primeiros mapas de rádio celestes. Esses mapas mostravam a radiação de fundo em comprimento de onda de 1,87m (160MHz) em unidades de watts por metro quadrado, por grau, por megahertz de largura de faixa. Os mapas constituem nas primeiras medidas quantitativas extensivas da radiação rádio vinda do céu, sendo notavelmente bons quando comparados com os mapas mais recentes.

Considerando o primitivo equipamento utilizado por Reber, eles são um tributo a habilidade deste cientista. Reber também reportou a emissão vinda do Sol, sendo que mais tarde, em 1948, publicou um outro mapeamento rádio em 6,5cm (480MHz).

O primeiro reconhecimento de emissão rádio do Sol foi em 1942, na Inglaterra por J. S. Hey que estava trabalhando como um cientista civil na British Army Operational Research Group dirigida por Sir Basil Schonland. Como um de seus trabalhos de pesquisa, Hey, era responsável pela análise de todas as ocorrências de falha do grupo de radares da Army. Para esse propósito um sistema para aviso imediato do tipo e direção da falha foi organizado e os operadores de radar foram instruídos para observação e registro da interferência. Em fevereiro/1942, relatos de muitos lugares em operação em comprimentos de onda de 4 a 8m, levaram Hey a concluir que o Sol estava irradiando intensa rádio-emissão e que o fenômeno estava associado com uma grande mancha solar. Os registros de Hey estavam restritos, porém, à circulação por razões de segurança militar. Suas conclusões pareceram tão inesperadas que ele não recebeu logo aceitação unânime por parte dos cientistas pesquisadores.

Mais tarde, na metade do mesmo ano de 1942, Southworth do Bell Telephone Laboratories fez as primeiras observações com sucesso da rádio-emissão térmica do Sol calmo em comprimentos de onda centimétricos. Novamente, os prevaletentes regulamentos de segurança limitaram a circulação da informação. Os dois relatos, por Hey na radiação intensa associada com a atividade solar e por Southworth na emissão solar normal, postularam os fundamentos da Radioastronomia Solar.

Durante a Segunda Guerra Mundial, uma publicação de Reber com suas recentes conclusões foi editada pelo Astrophysical Journal, e, embora a Holanda estivesse sob a ocupação alemã, uma cópia do Astrophysical Journal contendo o artigo de Reber, eventualmente alcançou o observatório de Leiden. O professor Jan H. Oort,

diretor do Leiden Observatory, ficou muito interessado no artigo e discutiu os achados de Reber com alguns de seus colegas. Oort sugeriu para Dr. Hendrick Van de Hulst, um jovem astrônomo no Leiden, que poderia se examinar qualquer possibilidade de mecanismos astrofísicos que poderiam produzir linhas no espectro rádio. Van de Hulst chegou a conclusão que a raia de comprimento de onda de 21cm do átomo de hidrogênio neutro poderia ser detectada. Desde que o hidrogênio é o maior constituinte do meio interestelar, é de se supor que a observação desta linha seria de grande significado astronômico. Embora levasse 16 anos para que ela fosse identificada, a predição fora bem fundamentada.

Foi assim que em 25 de março de 1951, Ewen e Purcell, na Harvard University, detectaram a linha de emissão. Dentro de poucas semanas ela também foi detectada por Muller e Oort em Leiden e por Chistiansen em Sydney, Austrália. Subsequentemente Hagen e McClain, em 1954, no U. S. Naval Research Laboratory detectaram a linha em absorção. Observações na linha de hidrogênio neutro tem se mostrado de imenso valor, e pesquisas neste comprimento de onda são uma das fases mais ativas da Radioastronomia. Um dos mais espetaculares resultados tem sido o mapeamento da estrutura da nossa Galáxia onde o grupo de Dutch em Leiden tem liderado.

Após a segunda Guerra Mundial vigorosos programas em radioastronomia tiveram início na Inglaterra e Austrália. Em 1946 foi iniciada a construção de um rádio-telescópio parabólico fixo de diâmetro de 65,4m na Manchester University, Inglaterra. Esta foi completada em 1947, e em 1948 planos foram formulados para a construção de um rádio-telescópio capaz de ser operado mesmo com um diâmetro de 75,0m. A construção iniciou-se em 1953, completando-se em 1957. Por muitos anos esse telescópio teve o mérito de ser o maior rádio-telescópio do mundo.

Em Malvern, Inglaterra, Hey, Parsons, Phillips e Stewart, em 1946, começaram um levantamento do céu rádio no comprimento de onda de 1.7m (64 MHz). Durante esse levantamento eles notaram

que a radiação vinda da região de Cygnus aparentava uma flutuação apreciável em intensidade de aproximadamente uma vez por minuto. Hoje, usualmente chamada de cintilação. Sabe-se que é análoga a que ocorre em estrelas visuais causada por irregularidades atmosféricas, sendo que a cintilação é causada por heterogeneidades na ionosfera terrestre.

Em 1948, Bolton e Stanley, observaram a mesma região em Cygnus com um interferômetro marítimo construído em um rochedo dominando o oceano perto de Sydney, Austrália. Com a alta resolução desse interferômetro eles acharam que a fonte de Cygnus tinha um diâmetro angular de aproximadamente 8 minutos de arco. Esta foi a primeira insinuação que, pelo menos, algumas das radiações vindas do espaço poderiam provir de fontes de extensão angular bem pequena. Os resultados de Bolton e Stanley foram confirmados por Ryle e Smith em 1948 na Cambridge University, Inglaterra, usando um interferômetro de dois elementos. Ryle e Smith também descobriram uma fonte de rádio igualmente intensa em Cassiopéia, cuja declinação está muito para o norte para ser observada de Sydney, Australia.

John G. Bolton, em 1948, em Sydney, identificou uma fonte forte de rádio emissão em Taurus com a nebulosa do Caranguejo. Este foi o primeiro objeto visual. Em 1950 Brown e Hazard usando o parabólico fixo de 65,4m da University Manchester, Inglaterra, detectou radioemissão da grande nebulosa de Andrômeda no comprimento de onda de 1,9m (158 MHz). Em 1951, Grahah Smith, em Cambridge University, Inglaterra, obteve uma posição muito precisa para a rádio fonte de Cygnus, a qual comunicou com Walter Baade do Observatório de Monte Palomar.

Nas coordenadas fornecidas por Grahah Smith para Cygnus, Baade notou uma nuvem tênue como uma galáxia distante à qual, contudo diferia da aparência usual de qualquer objeto. A galáxia parecia ser dupla e Baade especulou que ela deveria representar duas galáxias distintas em colisão.

Em 1949, Bolton, Stanley e Slee identificaram como fontes discretas de radioemissão as galáxias NGC 5.128 e NGC 4.486. Depois foram realizadas muitas dezenas de análogas identificações e agora se pode afirmar que, se não todas, a maior parte das fontes discretas de radioemissão são galáxias.

Foi em 1946 que Dicke e Beringer nos Estados Unidos detectaram a radioemissão térmica natural proveniente da Lua e também ecos de radar da Lua foram obtidos pela US Army Signal Corps e por Bay da Hungria. As descobertas de Hey e seu time levantaram os interesses de J. A. Ratcliff que, como Hey e muitos outros, foi gradativamente envolvido pela fascinação da radioastronomia. Ratcliff estava retornando a Cambridge depois da guerra e então encorajou a Ryle, que fazia parte de seu grupo, nos seus planos de seguir as pesquisas radioastronômicas. Nesta época Lovell, que estava reassumindo seu trabalho de pesquisa nos raios cósmicos com Blackett em Manchester, acreditou que os métodos de radar usados pelo grupo de Hey poderiam ser aplicados aos raios cósmicos. A pedido de Lovell, Hey e Parson montaram em Manchester um radar similar ao deles próprio. Interferência da cidade impeliram Lovell a mudar-se para Jodrel Bank, uma localização própria do departamento de botânica da universidade. Ali ele constatou que os raios cósmicos mostravam ser tão ilusórios para se capturar por radar que mudou sua atenção para o estudo dos ecos de meteoros e mais tarde para outros ramos da radioastronomia.

A partir desse começo dois centros de pesquisa em radioastronomia ficaram famosos: um sob a direção de Sir Martin Ryle em Cambridge e outro sob a direção de Sir Bernard Lovell em Manchester. Ao mesmo tempo as descobertas iniciais também estimularam o interesse de J. L. Pawsey da Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Austrália, e com o encorajamento de Bowen, Pawsey organizou um igualmente bem conhecido grupo de radioastrônomo ali.

Após a predição de Van de Hulst da linha de 21cm do h

drogênio, o mais importante avanço foi feito pelos astrônomos Alfven e Herlofson e o astrônomo russo Shlovsky no estabelecimento do processo sincrotrônico como a origem da emissão contínua em diferentes tipos de fontes astronômicas.

Não é possível sintetizar tão brevemente todas as subsequentes iniciativas que levaram ao progresso na ciência radioastronômica. Assim sendo podemos continuar esse relato tentando ser mais sucintos tendo em vista que, agora, a ciência radioastronômica teve merecidamente o seu lugar de honra na astronomia moderna e também a sua devida divulgação pelo meio científico de interesse.

Assim, com o radiotelescópio de 91 m do National Astronomy Observatory nos Estados Unidos em 1963, se captou a radioemissão em mais da metade das galáxias dos tipos SB, SC mais brilhantes que a magnitude aparente 11.

Quando os astrônomos ingleses e australianos utilizando o método interferométrico e o método de ocultação pela Lua, determinaram as posições de um número considerável de fontes discretas de radioemissão, também determinaram com grande precisão as dimensões angulares de certo número de fontes. Destas, cinco fontes chamaram a atenção porque, apesar de seu pequeno tamanho angular, o fluxo de sua radioemissão superava em muito as outras fontes conhecidas. Devido a esta particularidade, de ter uma emissão consideravelmente concentrada em um ângulo sólido muito pequeno, deu-se o nome de quasars, ou seja, objetos quase estelares, um dos mais interessantes objetos astronômicos. A lista publicada em 1967 por Bastistini e Nazzi, contém 103 quasars que se acham em todas as regiões do céu, à exceção naturalmente do equador galáctico onde a matéria em forma de pó concentrada no plano da Galáxia os faz opticamente invisíveis. Também em 1967, Sandage analisando 69 objetos azulados muito débeis situados em uma região do céu pequena, chegou à conclusão de que 48 deles eram estrelas brancas anãs e subanãs. Os demais eram quasars.

Em outubro de 1967 um grupo de astrônomos de Cambridge dirigido por Hewish, realizou com o novo radiotelescópio a investigação do fenômeno de cintilação das radioondas. Depois que o radiotelescópio observou uma parte considerável do céu e o dispositivo automático de gravação registrou em uma tira de 100 metros de comprimento os radiosinais observados, a primeira pessoa que teve a oportunidade de ver os registros foi a estudante Joselin Bell. Ela foi a primeira a chamar a atenção sobre o fato de que, além dos radiosinais que mudavam sua intensidade de um modo irregular e causal haviam aqueles em forma de frequentes pulsações repetidas periodicamente. A comprovação mostrou que esses impulsos chegavam de um mesmo ponto do céu cada vez que o radiotelescópio se orientava para ele. Isto queria dizer que os impulsos tinham uma origem extraterrestre. Isto era um fenômeno astronômico, um novo objeto da natureza inesgotável em invenções. Como a particularidades desse novo objeto é a radioemissão em forma de pulsações que se alternam regularmente, se concordou, e muito acertadamente, em chamá-los pulsars.

Com a ajuda dos mesmos radiotelescópios foram descobertos rapidamente mais três pulsars. Depois que à busca se dedicaram outros rádio-observatórios, incluindo os situados no hemisfério austral, o número de pulsars cresceu rapidamente e na atualidade, o número desses objetos ultrapassa em mais de 50. Em novembro/1968 se comunicou a descoberta de um pulsar no centro da nebulosa de Caranguejo. Seu período é o menor entre todos os dos pulsars descobertos: somente 0,03162 segundos. Este pulsar tem uma particularidade notável, ou seja, existe um aumento de modo paulatino, lento porém inflexível, do período de sua pulsação: cada dia em 38 mil milionésimos de segundo. Esta particularidade foi descoberta agora também em muitos outros pulsars. Hoje, esses maravilhosos objetos do céu rádio, são efusivamente estudados e muitas teorias a respeito deles estão aí para serem postas à prova.

Quanto a parte de catalogação do céu rádio, pode-se ci

tar vários pesquisadores que se detiveram nesse afazer. Assim, o catálogo fundamental de fontes discretas do céu boreal em radioemissão é o Terceiro Catálogo de Cambridge (3C), editado por Edge, Shakeshaft, Adam, Baldwin e Archer. O catálogo logo contém 471 fontes discretas de radioemissão situadas entre as declinações de -22° e $+71^\circ$, sendo que as observações se realizaram no comprimento de onda de 1,68m.

Para o céu austral, o catálogo de fontes discretas de radioemissão feito com observações no comprimento de onda de 3,5 m foi composto pelos australianos Mills, Slee e Hill. Seu catálogo, que consta de 3 edições é chamado habitualmente de Catálogo de Sydney, abarcando todas as regiões do céu com declinações de $+10^\circ$ a -80° . Neste catálogo estão registradas fontes mais débeis que as do Catálogo de Cambridge, por isso são mais numerosas: seu número total ultrapassa a 2270.

Em 1965, Howard e Maran publicaram o catálogo de 1962 fontes discretas de radioemissão por todo o céu. Neste existem dados relativos aos objetos para os quais há medidas de intensidade nos diversos comprimentos de onda da faixa rádio; assim sendo, pode-se ter uma idéia sobre o caráter do espectro da radiação da fonte discreta.

Poucas observações podem se comparar em significância com a descoberta em 1965 das radiações de fundo das microondas cósmicas. Esta radiação, a qual possui uma intensidade virtualmente igual em todas as direções, tem um espectro correspondente a um corpo-negro com uma temperatura de $2,7^\circ\text{K}$. Sua existência é inteiramente aceita como uma evidência da teoria do Big Bang.

As observações iniciais das microondas de fundo foram feitas por Arno Penzias e Robert Wilson, ambos do Bell Telephone Laboratories, enquanto estudavam ruído do céu com uma grande antena em Holmdel, New Jersey. Por essa descoberta, Drs. Penzias e Wilson receberam o prêmio Nobel em física no ano de 1978.

III - ANTENAS

III.1 - ASPECTOS GERAIS

Antena é o nome genérico que se dá a qualquer aparato capaz de receber, de alguma forma, as ondas eletromagnéticas. Qualquer pedaço de arame seja ele de alumínio, ferro, cobre ou qualquer outro metal é em potencial uma antena. O problema que se encontra ao projetá-las é tão somente o de receber o máximo das informações por elas captados.

Esta "definição" de antena não é em absoluto otimista nem super simplificada, e gostaríamos de transcrever aqui a frase de William 'Orr, engenheiro norte americano: "As Antenas são como as loiras, existem as boas e as melhores".

A teoria básica sobre antenas de feixe, tem seu início em 1877, com Lord Rayleigh, estabelecendo o teorema da reciprocidade, que reza: "Se uma voltagem é aplicada aos terminais da antena A e a corrente induzida é medida nos terminais da antena B, então uma corrente igual será encontrada nos terminais da antena A, se a voltagem inicial é aplicada nos terminais da antena B".

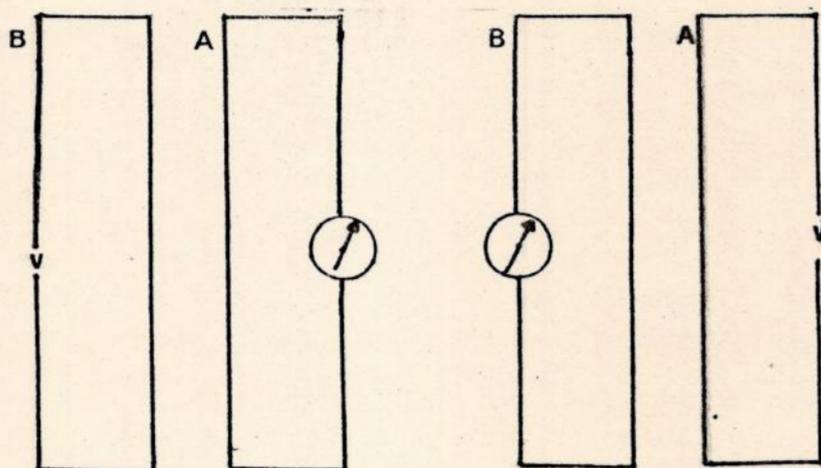


fig. 1

Este teorema nos diz que uma antena funciona tão bem transmitindo, como recebendo sinais de rádio.

Quando uma onda de rádio encontra um condutor, os elétrons livres neste se moverão na direção correspondente ao vetor campo elétrico da radioonda. Se colocarmos um acumulador à antena que está recebendo energia de uma radioonda, uma determinada quantidade desta energia poderá ser extraída. A corrente fluindo para o interior do acumulador pode ser pensada como a soma de muitas correntes individuais que fluem na antena. Quando estas correntes individuais estão em fase ao chegarem ao acumulador, um máximo de potência poderá ser extraído da onda. Esta condição em que todas as correntes individuais estão em fase é conhecida como ressonância. Em uma antena simples este requisito é encontrado com múltiplos de $1/4$ do comprimento de onda.

A ressonância garante que poderemos extrair um máximo de energia à radioonda porém, para conseguirmos realmente retirar toda energia possível, é necessário que a resistência de radiação da antena seja igual à resistência do acumulador. Quando isto acontece, antena e acumulador, são ditos "casados".

A resistência de radiação de uma antena pode ser definida como o valor da resistência que, quando colocada no lugar da antena, dissipará a mesma quantidade de potência que é irradiada por ela.

III.2 ELEMENTOS PARASÍTICOS

Um elemento parasítico é qualquer tubo ou fio de material condutor que, sendo ressonante com determinada onda, não está ligado a nenhum acumulador e por isso reirradia para o espaço praticamente toda energia de rádio que intercepta. Este elemento, quando colocado entre a radiofonte e o dipolo, recebe o nome de "diretor". O sinal é recebido primeiramente pelo diretor que o reirradiará. Então o dipolo estará exposto à onda original somada a reirradiada. Se a onda reirradiada pelo elemento diretor atinge o

dipolo em um tempo determinado, ela reforçará o sinal original. O acoplamento das duas ondas é determinado pela separação física entre dipolo e elemento.

Quando o elemento parasítico é colocado de forma que a onda original atinja o dipolo antes de atingir o elemento, este é dito "refletor". A ação do elemento parasítico pode ser matematicamente estabelecida usando-se o conceito de impedância mútua, que é uma generalização do teorema da reciprocidade.

Na prática, o número de variáveis envolvidas tornam impossível uma solução matemática do problema, para uma antena que utiliza mais de quatro elementos.

O método utilizado é o das tentativas, isto é, movendo-se elementos de vários tamanhos para frente e para trás. No caso das antenas Yagi (cujo nome é devido ao trabalho pioneiro de Hidetsugn Yagi) o número de experiências já feitas permite a construção da tabela (1) para antenas de feixe, que estabelecem a distância de cada elemento ao dipolo, sendo também possível a construção de um gráfico para o comprimento de cada diretor em função do número de elemento utilizados.

III.3 PARÂMETROS DE UMA ANTENA

Uma vez construída a antena, o próximo passo será determinar os parâmetros que possibilitem sua perfeita utilização. Estes parâmetros são: a diretividade, a potência de ganho, a área efetiva e a figura de antena.

A diretividade é a capacidade de uma antena concentrar a radiação em uma direção particular, considerando-se suas perdas como sendo nulas. É, portanto, uma situação ideal, nunca sendo atingida na prática. Por outro lado o ganho de uma antena é a razão da densidade de potência dirigida a alguma direção, comparada com uma antena de teste. As duas antenas devem estar recebendo a

ELEMENTO	DISTÂNCIA AO DIPOLLO (M)	DISTÂNCIA AO EL. ANTERIOR (M)
REFLETOR	NÃO CRÍTICO (M)	—
1º Elemento	0,64	0,64
2º Elemento	0,87	0,23
3º Elemento	1,12	0,25
4º Elemento	1,37	0,25
5º Elemento	1,91	0,54
6º Elemento	2,99	1,08
7º Elemento	4,07	1,08
8º Elemento	5,15	1,08
9º Elemento	6,29	1,08
10º Elemento	7,31	1,08
11º Elemento	8,39	1,08
12º Elemento	9,47	1,08

TABELA 1

mesma quantidade de potência e a orientação de maior interesse é ao longo da linha, onde a densidade de potência é a maior. (para ambas as antenas). A relação entre a diretividade e o ganho pode ser explicada utilizando-se o conceito físico de ambos, da seguinte forma: Uma antena que emitisse uma mesma potência em todas as direções, forneceria uma densidade de fluxo F , a uma distância r , igual a:

$$F = \frac{P}{4\pi r^2} = \frac{\text{POTÊNCIA}}{\text{Área de uma esfera}} \quad (1)$$

Como na prática não existe tal antena isotrópica, a densidade de fluxo F depende da direção que une a antena ao ponto considerado. Para uma antena não isotrópica, o fator que igualará a densidade de fluxo com a potência, por unidade de área, de uma superfície de raio r , será, o que chamamos, ganho (g), isto é:

$$F = \frac{gP}{4\pi r^2} \quad (2)$$

Note que, neste caso, a antena está funcionando como emissora.

Quando atua como coletora, o que importa é a potência útil que seus terminais entregam ao receptor, sendo esta:

$$P \approx A \cdot F \quad 3a$$

$$F = \frac{P}{A} \quad 3b$$

onde

P - Potência útil

A - área efetiva

F - densidade de fluxo recebida

A igualdade 3b é, apenas mnemônica, em alusão a equação 1.

A área efetiva é uma função da frequência da direção da onda recebida. Como poderíamos esperar, há uma relação entre a área efetiva e o ganho de uma antena. Esta relação se deduz expondo a antena a ação de um corpo negro, que fará com que esta entregue aos seus terminais uma quantidade de energia bem determinada.

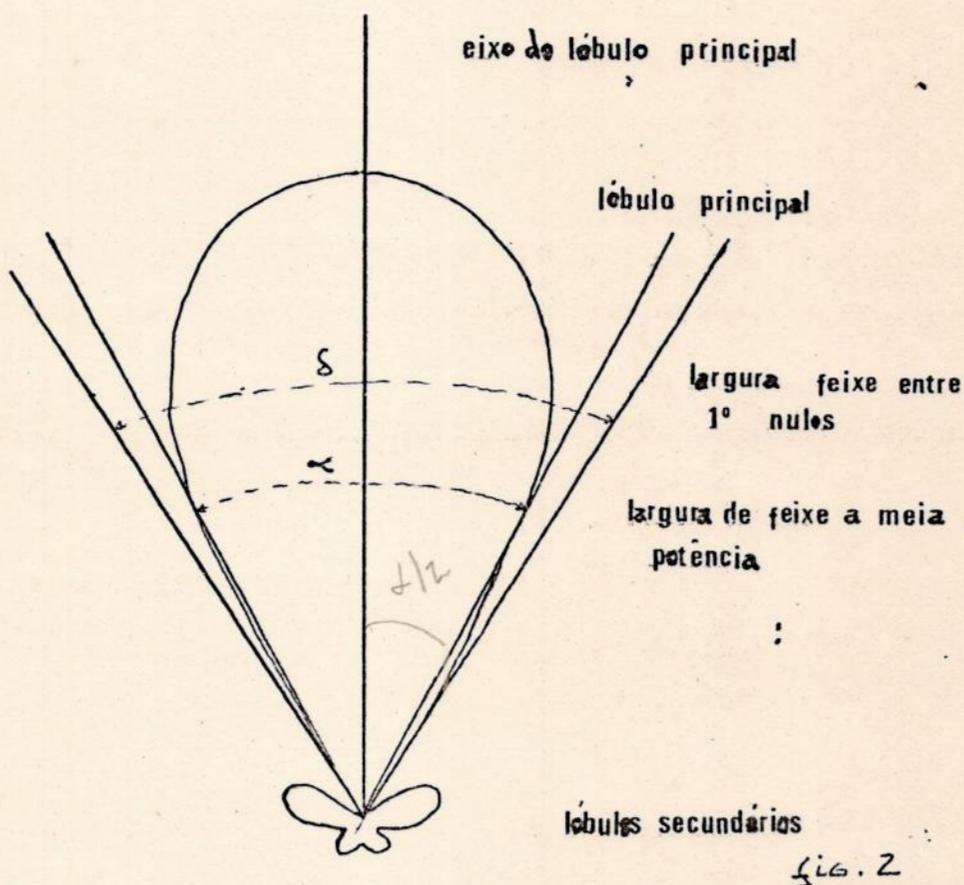
E se fizermos com que a antena (que tem um ganho g) emita uma mesma quantidade de energia até o estado de corpo negro, a transferência de energia entre este e o emissor deve ser nula, chegando-se à conclusão que:

$$g = \frac{4 \pi A}{\lambda^2} \quad (4)$$

Portanto, o ganho de uma antena emissora é proporcional a sua área efetiva, quando trabalha como coletora.

III.4 - FIGURA DE ANTENA - DIAGRAMA POLAR

A grandeza g (ou A), sendo dependente da direção de incidência da onda, é utilizada para confecção de um diagrama, dito, Diagrama Polar da Antena. Este é obtido plotando-se o ganho ou área efetiva em função de um ângulo, formado pelo eixo da antena e a direção de incidência da onda. A figura obtida é geralmente simétrica e se a rotacionarmos ao redor do eixo de simetria obteremos o diagrama espacial da antena.



A metade do ângulo de abertura do diagrama determina a resolução da antena, isto é, se objetos estiverem separados de uma distância angular menor que $\alpha/2$, serão "vistos" pela antena como sendo apenas um.

III.5 - RAZÃO FRENTE / ATRÁS F/A

A razão entre a potência irradiada para a frente do feixe e a irradiada na direção oposta é chamada razão frente - atrás.

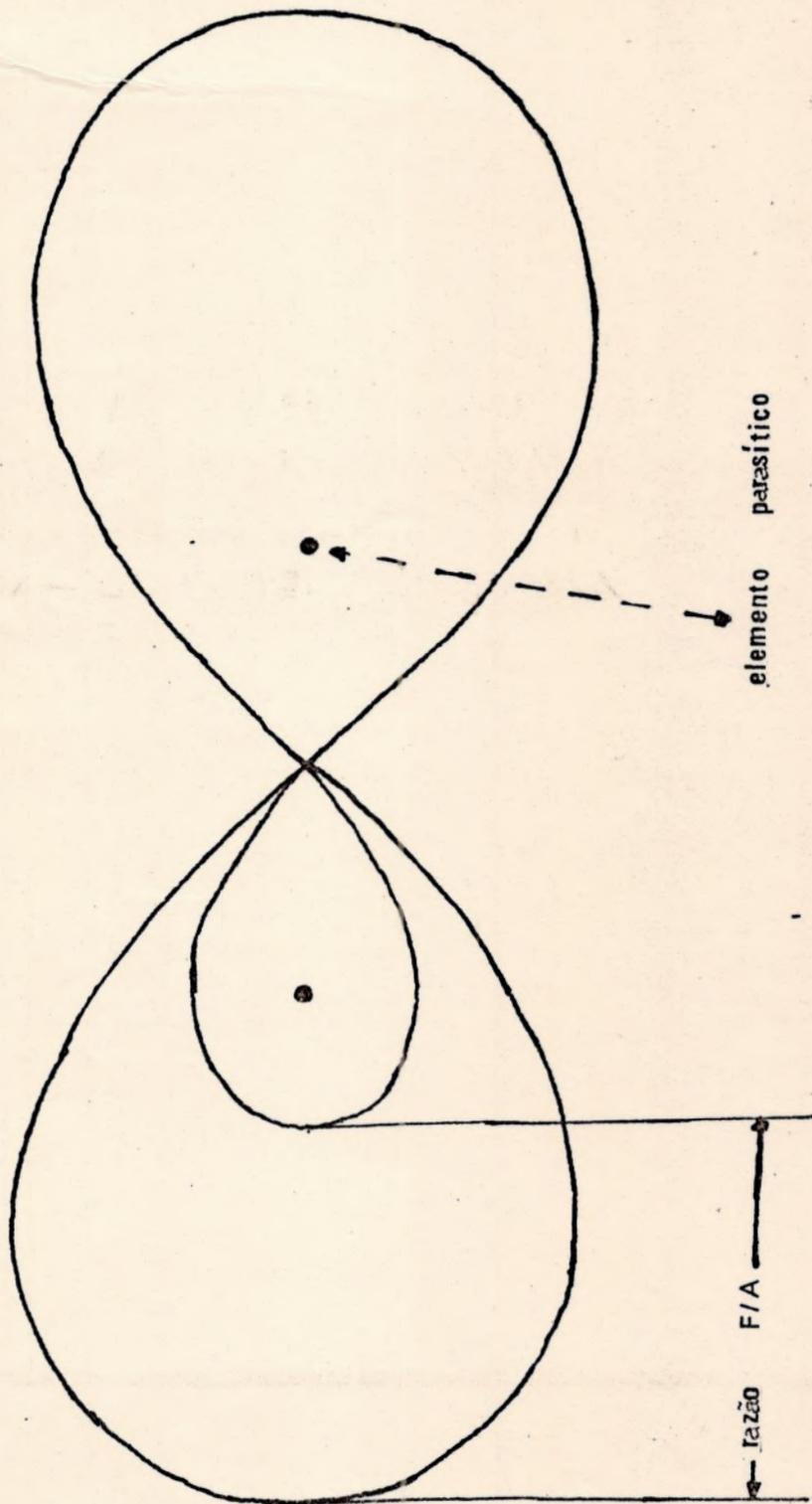
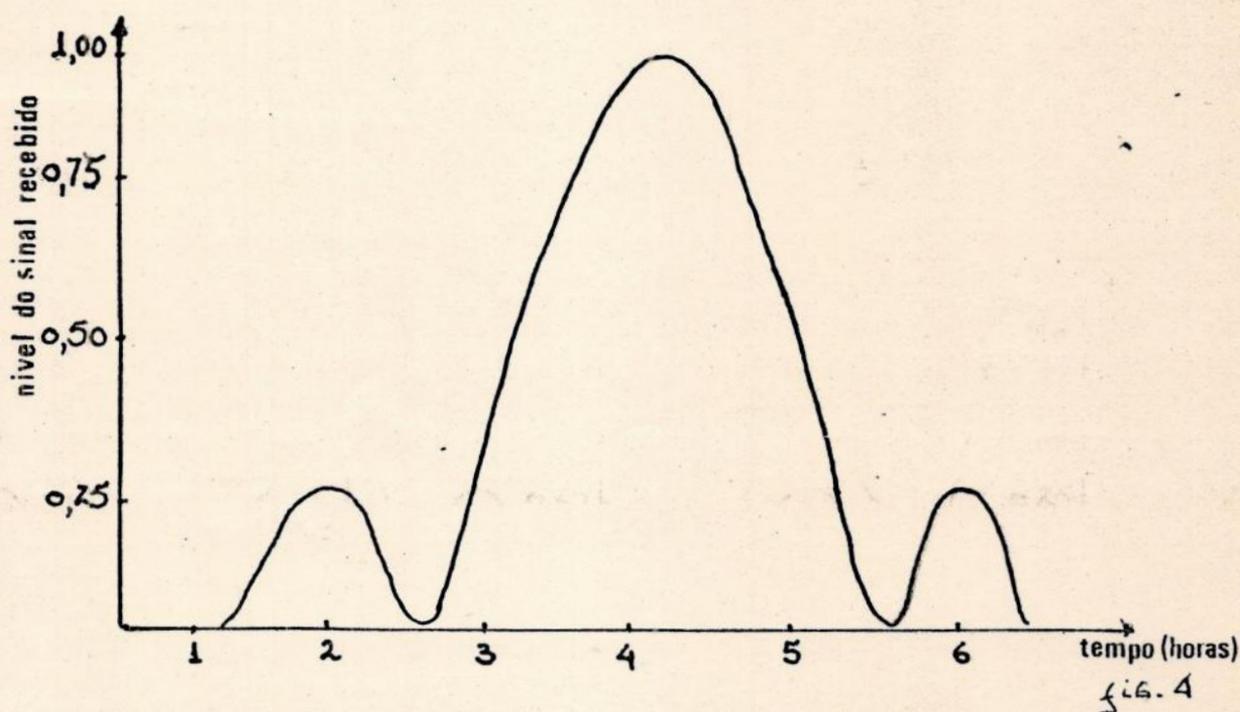


fig. 3

Com o aumento de elementos parasítios esta razão pode ser bastante aumentada, tendo-se como fatores limitantes reflexões das ondas no solo e a proximidade de objetos.

Uma antena quando acoplada a um receptor e a um registrador constitui o chamado "radiômetro".

Quando uma radiofonte discreta passa através do feixe da antena, causando variações no nível de sinal recebido, a figura obtida pelo registrador será, ex.:



Note-se que a fonte leva mais ou menos duas horas, enquanto o registrador desenha a curva maior, o que nos leva a crer que a largura do feixe é de cerca de 30 graus, já que os corpos celestes têm uma velocidade aparente de 15 graus por hora.

A única forma de aumentar a resolução de um radiômetro, é aumentando a diretividade da antena, o que significa aumentar sua área coletora várias vezes. Uma forma satisfatória de se aumentar a área coletora de um pequeno radiotelescópio é convertendo-o em um interferômetro.

III.6 - INTERFERÔMETRO

Qualquer radiotelescópio que utilize duas ou mais antenas, espaçadas entre si de vários comprimentos de onda, é conhecido por radiointerferômetro, pois utiliza-se das leis da interferometria na obtenção dos resultados finais.

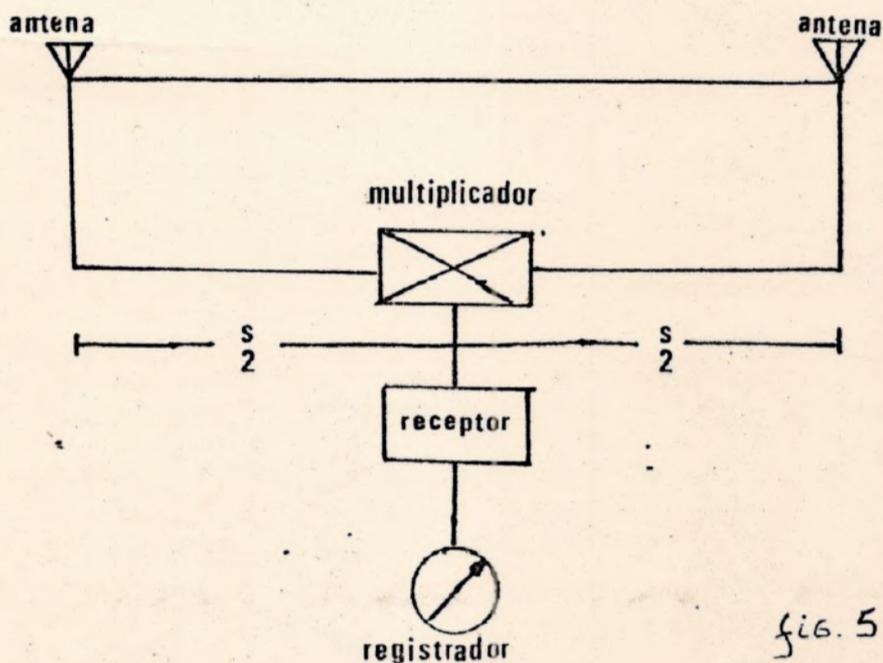


fig. 5

A figura 5 mostra um radiointerferômetro reduzido à sua forma mais simples.

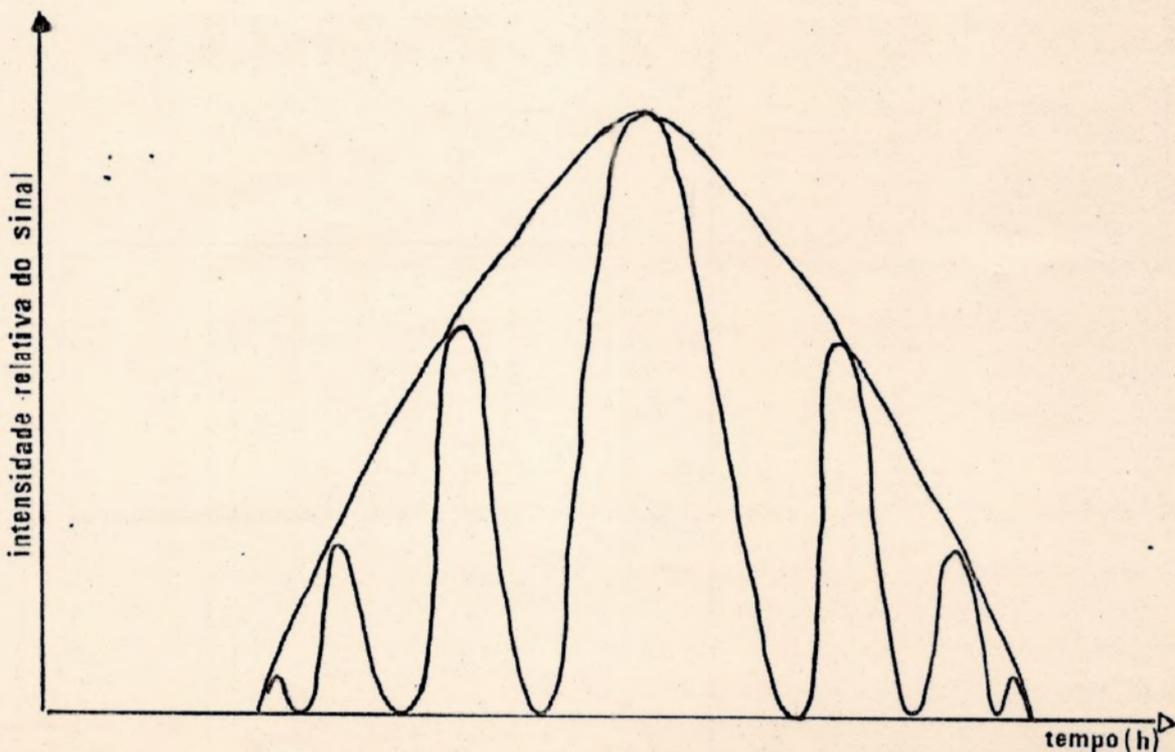


fig. 6

A figura 6 mostra o resultado final do registrador , quando uma pequena radiofonte cruza o feixe combinado das duas antenas do radiointerferômetro. Por simplicidade de exposição consideremos o caso em que apenas duas antenas estão separadas entre si de uma distancia a sobre uma linha base leste-oeste.

A fonte "entra" no campo de visão do radiotelescópio' e durante um certo tempo, que depende da largura do feixe a meia potência, ela ocupará várias posições que nos interessa estudar.

Sendo,

$$\text{Sen } \theta = \frac{\lambda}{2a} \quad (5)$$

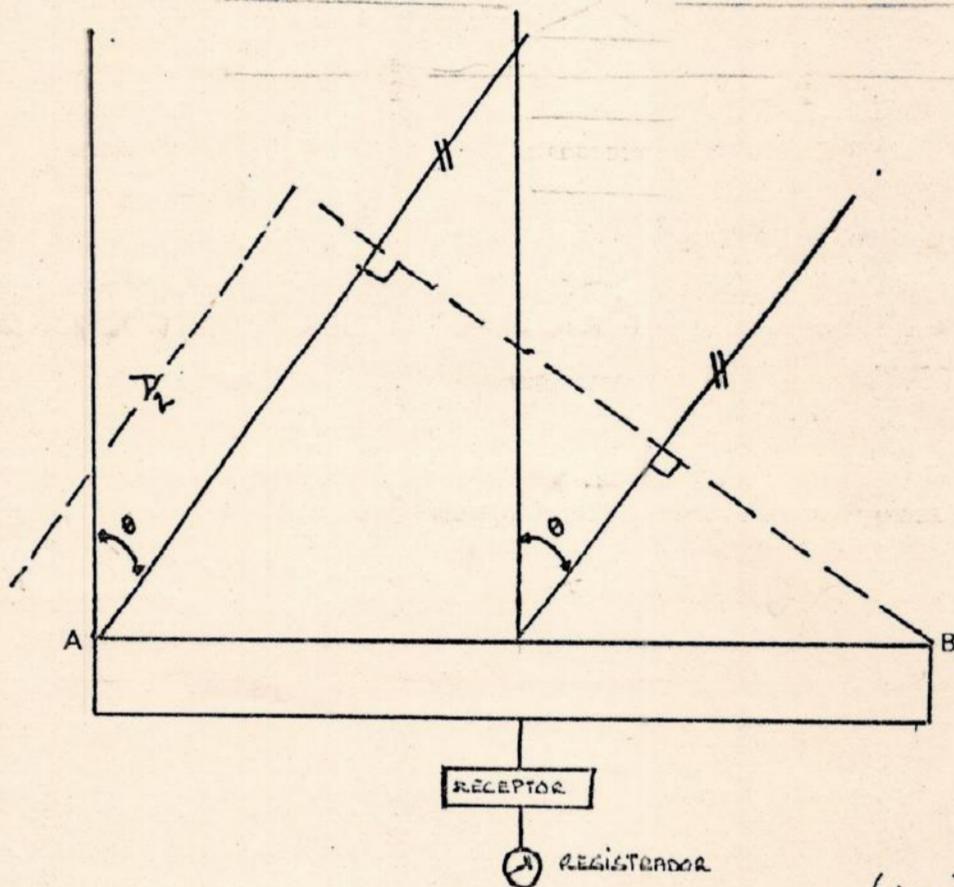


fig. 7

O raio será obrigado a percorrer um caminho $\frac{\lambda}{2}$ vezes maior para atingir A, que para alcançar B. Supondo que a linha de transmissão entre cada uma das antenas e o receptor seja de mesmo comprimento, os dois raios chegarão ao receptor com a dife

rença de fase de 180 graus, e o registrador não acusará nada. O mesmo efeito se fará sentir para múltiplos naturais ímpares. Assim para cada θ_n que satisfaça a relação...

$$\theta_n = \pm \frac{2n+1}{2} \frac{\lambda}{a} \quad (6) \quad n=0,1,2,3,\dots$$

haverá no papel do registrador um mínimo.

Para que haja uma acusação de máximo no registrador é necessário somente que o caminho percorrido por um dos raios, seja um múltiplo inteiro de λ e pela figura, isto ocorrerá quando

$$\text{Sen } \theta = \frac{\lambda}{a} \quad (7)$$

As condições de máximo e de mínimo se alternam naturalmente, enquanto a radiofonte cruza o feixe da antena, mas ainda temos que levar em conta o efeito do diagrama polar da antena sobre a recepção, isto é, quando a radiofonte penetra no feixe o raio incidente chega com um ângulo para o qual a área efetiva da antena é pequena. Com o passar do tempo, o ângulo de incidência varia e a área efetiva vai aumentando até atingir um máximo quando da culminação superior da fonte. Neste momento, os raios percorrerão caminhos idênticos até as antenas e haverá, portanto um máximo, no caso, absoluto. A figura ajudará a esclarecer:

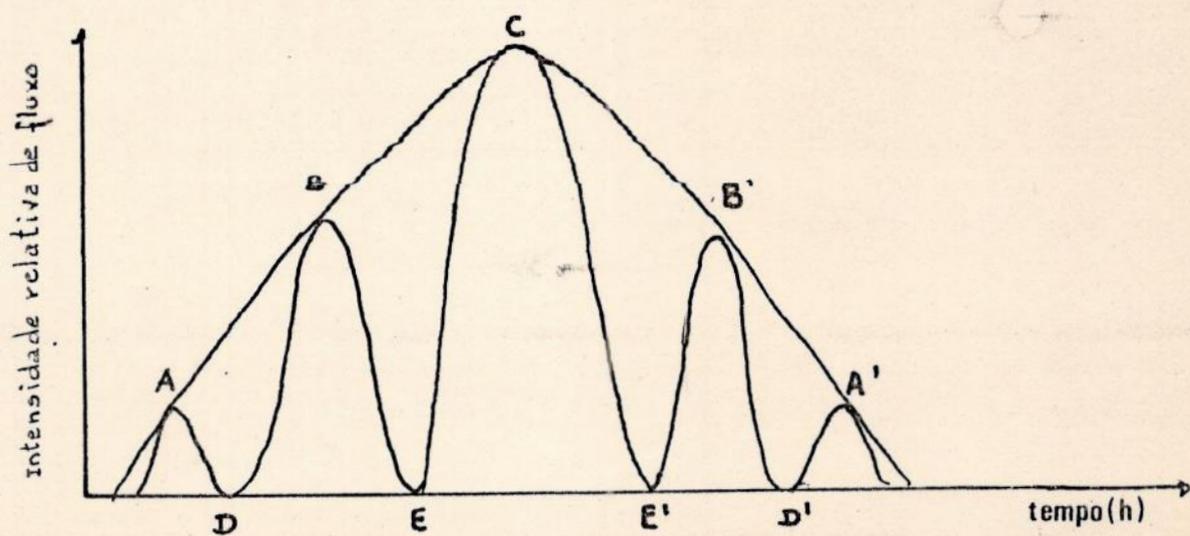


fig. 8

Na figura, cada um dos pontos A, B, A', B', C correspondem a um máximo ou defasagem de zero grau. Seus valores são limitados pela área efetiva da antena.

Os pontos D, E, D', E', correspondem a uma interferência destrutiva ou defasagem de 180 graus sendo, portanto, pontos de entrada nula no receptor. Se com uma antena a radiofonte levava duas horas para que o registrador acusasse a linha tracejada, agora para traçar a curva ECE', levará apenas uma fração de hora, que dependerá do comprimento de onda usado e da separação física das antenas.

IV - LINHAS DE TRANSMISSÃO

IV.1 - T I P O S

Uma função importante do sistema de antena é a transferência ou transmissão do sinal da antena para o receptor. Para que ela possa ser obtida é necessário que um certo número de requisitos seja preenchido.

Talvez o mais importante deles é que, qualquer que seja o meio usado para a transferência do sinal da antena para o receptor, não deve afetar de maneira alguma o sinal captado por ela. Um outro requisito importante é a transferência do sinal com um mínimo de perdas, da antena para o receptor.

Os requisitos acima podem ser preenchidos com o uso de uma linha de transmissão, que deve ser cuidadosamente selecionada e instalada. Essa seleção e instalação cuidadosa da linha de transmissão é tão importante para a qualidade do sistema de antena quanto a antena em si.

Existem vários tipos de linha de transmissão, cada um construído para um fim específico. No entanto, três tipos se tornaram comuns :

1. linha de condutores paralelos ou geminada
2. blindada
3. concêntrica ou coaxial

A linha geminada ou de condutores paralelos, como o nome indica, consiste em dois condutores paralelos ou "gêmeos" que são mantidos a uma distância fixa e simétricos em relação à terra por um material isolante de baixa perda (polietileno), colocado entre e ao redor dos condutores, em todo o seu comprimento, como ilustrado em A e B da figura da pag. 27.:

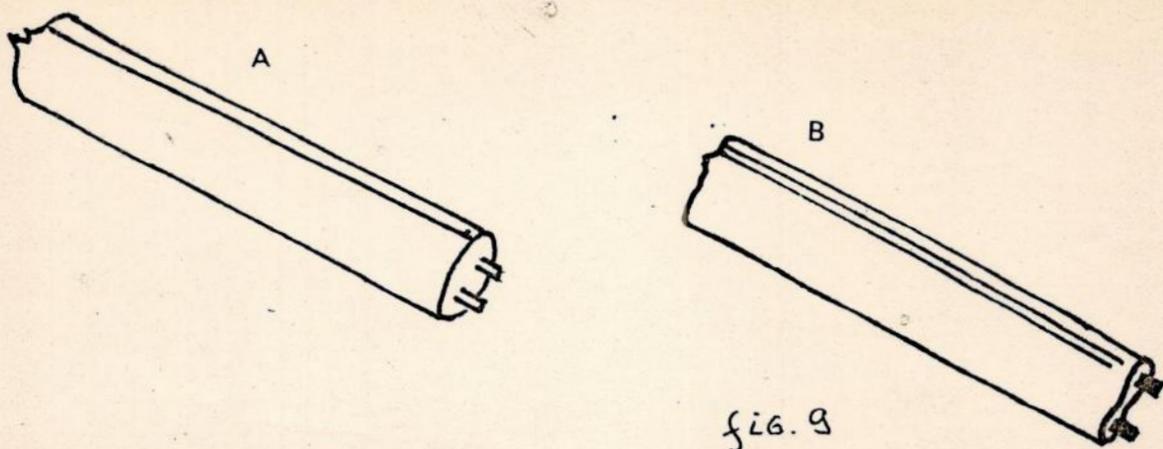


fig. 9

A linha é bem flexível e é feita em forma de uma fita achatada para conveniência de instalação e pode ser adquirida em dois tipos: para instalação externa e para instalação interna.

A linha para instalação externa é de construção forte e foi projetada especialmente para esse fim. Como indica A na figura acima, ela é caracterizada por um isolamento muito mais eficiente e tem a forma ovalada a fim de que a água possa escorrer facilmente. É superior ao tipo interno porque mantém as suas características de baixas perdas sob condições atmosféricas as mais severas. Esta linha é recomendada para instalações onde seu comprimento excede 6,0m. Já o tipo interno, sujeito às condições do clima, sofreria alteração de suas características.

O tipo interno é de construção mais frágil. Devido ao fato de que não precisa suportar condições atmosféricas, torna-se mais barato do que o tipo externo. Como indica a figura acima esse tipo é mais achatado e contém consideravelmente menos material isolante entre e ao redor dos condutores do que a linha externa.

A linha de condutores paralelos ou geminados (interna ou externa), além de ser de baixo custo tem a vantagem da flexibilidade no manuseio, características de pouca perda e é equilibrada em relação à terra. No entanto, devido ao fato de não ser blindada, tem a desvantagem de captar ruídos eventuais e não deve ser usada em locais de muita interferência.

A linha de transmissão do tipo blindado consta de dois condutores paralelos mantidos a uma certa distância pelo material isolante que os reveste da mesma forma que na linha de con

tores paralelos que acabamos de explicar. No entanto, neste caso, os reveste em um espaçamento uniforme em toda a sua extensão. O lado externo da blindagem é então coberto com uma grossa camada de material à prova de variação climática a fim de proteger o cabo da umidade e de qualquer dano físico.

A construção desse cabo blindado é ilustrado em C da figura abaixo:

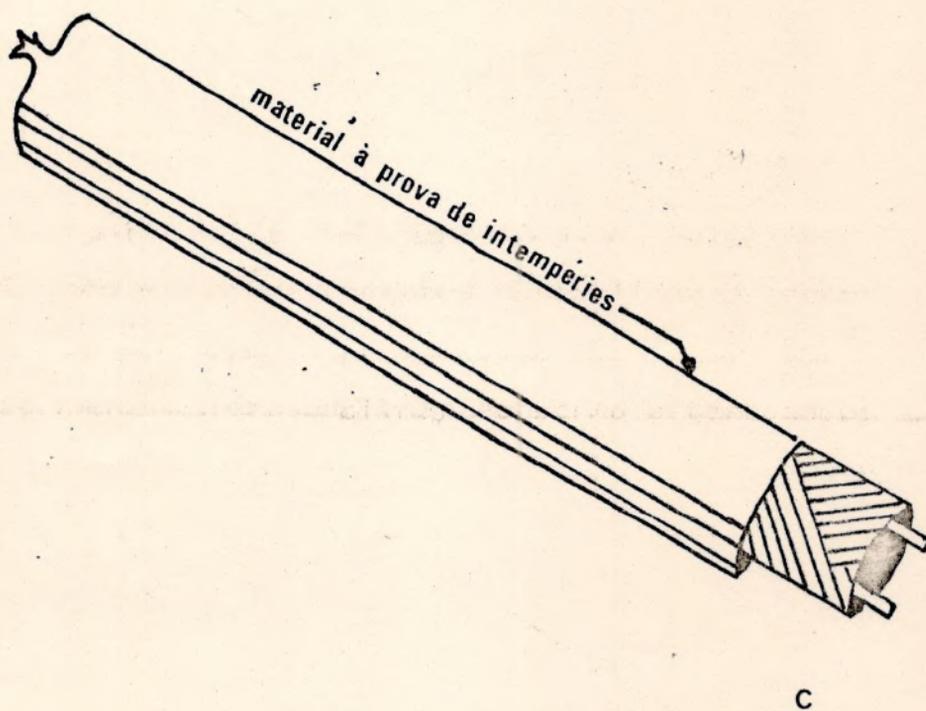


fig. 10

Esse tipo de linha é utilizado para instalações especiais onde se exija que a linha de transmissão não absorva energia de ruídos vizinhos ou outras interferências, nas quais o uso de uma linha não blindada, captando ruídos e sinais de interferência, anularia o sinal captado pela antena em si.

A linha blindada é bem mais difícil de ser instalada, é mais cara e introduz ~~menos~~ perdas no sistema de antena, do que a linha de dois condutores paralelos.

A linha do tipo concêntrico ou coaxial também consta de dois condutores. No entanto, como indica C da figura, um dos condutores é colocado dentro do outro, sendo que o externo é uma blindagem total para o condutor interno. E, também temos uma representação da linha coaxial:

dielétrico sólido

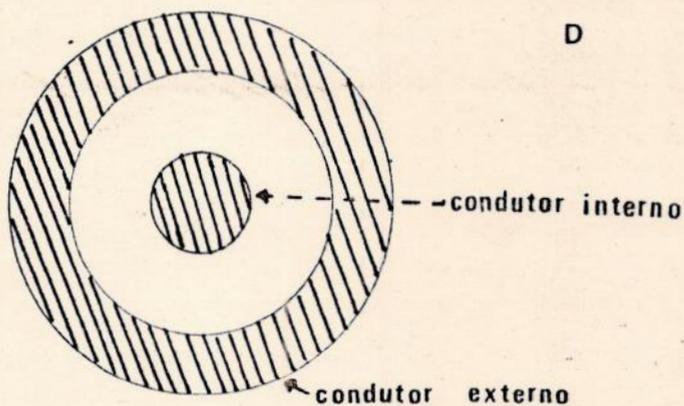


fig. 11

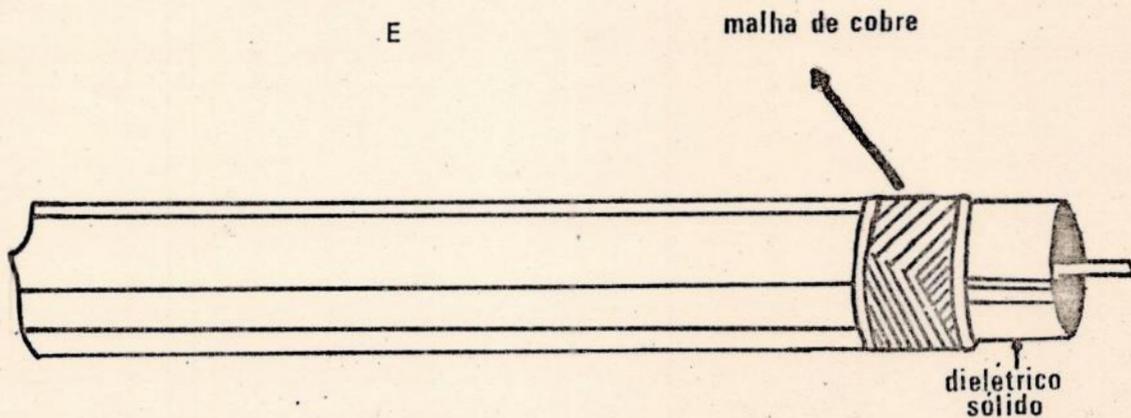


fig. 12.

IV. 2 - IMPEDÂNCIA DE UMA LINHA DE TRANSMISSÃO

A energia recebida pela antena atinge o receptor através de linha de transmissão, que variam enormemente em suas características, a saber: impedância nominal, atenuação, diâmetro, velocidade da onda na linha. A impedância nominal comercialmente negociada situa-se entre 35 ohms (RG-53/U Cabo Coaxial) e 450 ohms. A atenuação é uma medida de perda de potência, por comprimento. Varia com a frequência utilizada, de forma crescente, isto é, aumenta com a frequência. A velocidade da onda na linha é um fator de máxima importância, uma vez que, uma variação na velocidade implica em variações no comprimento de onda ou na frequência ou em ambos. A seguir mostraremos uma tabela que mostra uns poucos tipos de linha de transmissão e suas características.

	Tipo	Impedância Nominal (ohms)	Diâmetro Externo (cm)	Atenuação dB/30m (144 MHz)	Velocidade %
	RG8/U	52,0	1,029	4,1	66
Cabo Coaxial	RG58/U	53,5	0,495	5,7	66
	RG59/U	75,0	1,219	3,4	79
<hr/>					
	Par isolado com Polietileno	300,0		1,5	82
	Par espaçado (tipo de televisão)	400,0	1,270	0,75	92

TABELA 2.

A impedância da linha de transmissão deve ser igual a impedância da antena, para que haja um aproveitamento total da e -

nergia captada. O casamento de impedância se faz através de transformadores de impedância. Estes, são de qualquer tipo, sendo que os melhores são constituídos de um núcleo de ferrita enrolados com um fio.

Os parâmetros de impedância nominal e atenuação devem ser escolhidos de tal forma que o primeiro seja igual à impedância da antena e o segundo o menor possível.

As antenas de feixe normalmente apresentam impedância alta em torno de 300 ohms. Para casá-la com um cabo coaxial RG8/4 por exemplo, fazemos uso de um "balun" (balanced-unbalanced). O "balun" age como um transformador de impedância. Por exemplo pode ser simplesmente um determinado pedaço de cabo coaxial colocado no início da linha. Ou o que é mais sofisticado e também mais eficiente, um núcleo de ferrita tendo enrolamento de fio. A transformação, pode ter qualquer razão, porém as mais usadas são: 4:1 e 1:1

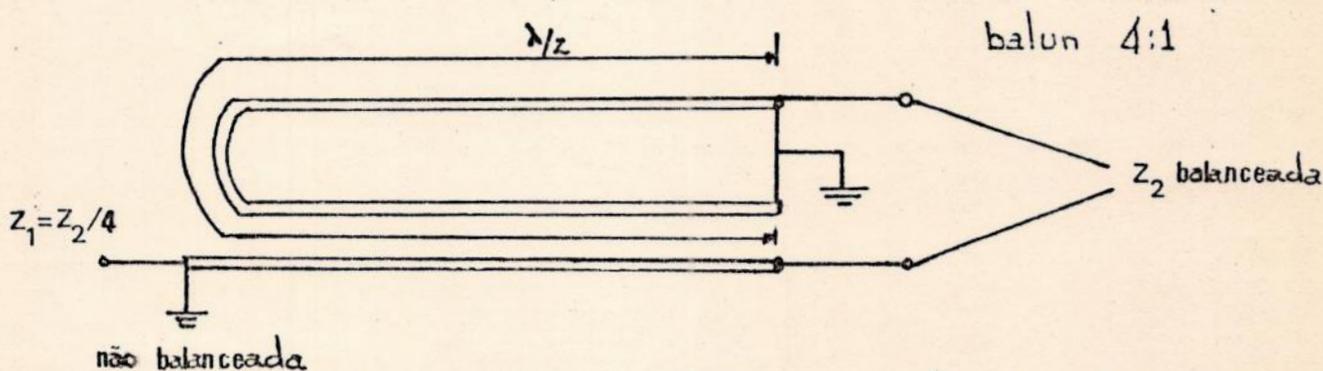
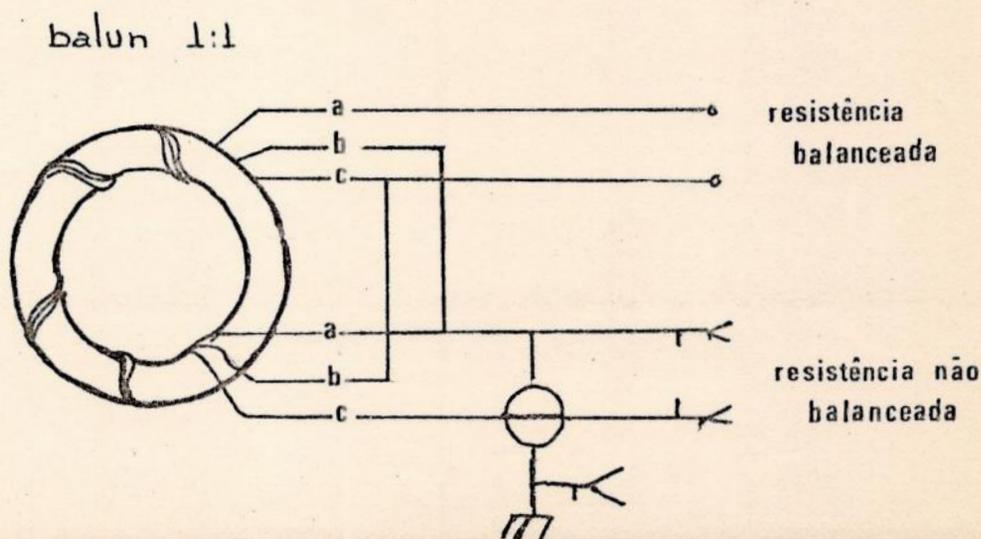


fig. 13



A total maleabilidade destes transformadores, isto é, a possibilidade de se transformar qualquer impedância em uma ou - tra desejada, torna o problema de casamento de impedâncias algo um tanto mais simples, pelo menos em teoria. Na prática, no entanto, é um problema de tentativa. A impedância característica da antena depende de vários outros fatores, tais como: altura da antena e proximidade de objetos, de tal forma que para atingirmos, por exemplo cinquenta ohms de cabo coaxial RG8/U, devemos ir diminuindo aos poucos o comprimento do "balun" até um perfeito casamento.

V. RECEPTORES DE RADIOTELESCÓPIOS

V. 1.- ASPECTOS GERAIS

Os receptores ^{de} radiotelescópios basicamente não diferem dos utilizados em outros campos científicos. O desempenho do receptor pode ser medido pela sua capacidade de detectar sinais e separá-los de ruídos e interferência. Tres são os parâmetros que o definem:

Sensibilidade: é a capacidade do receptor detectar sinais fracos;

Seletividade : é a capacidade de distinguir entre sinais extremamente próximos em termos de frequência;

Estabilidade : Assegura que, uma vez sintonizado um sinal estável, este permanecerá sintonizado sem necessidade de resintonização periódica dos controles do receptor.

A forma mais simples de se definir sensibilidade, e pela qual ela é comumente entendida, é como sendo o sinal requerido na entrada do receptor para que forneça uma saída - sinal + ruído - com uma razão estabelecida sobre a saída em ruído do receptor. Esta definição, no entanto, não permite uma medida absoluta porque a largura de banda do receptor tem grande influência no resultado.

Assim sendo, o movimento aleatório das moléculas na antena e nos circuitos do receptor gera pequenas voltagens chamadas ruído de agitação térmica, que é independente da frequência e proporcional à temperatura absoluta, à componente resistiva da impedância (através da qual a agitação térmica é produzida) e à largura de banda; um gerador ideal não gerará ruído em seus tubos ou semicondutores e circuitos e o sinal mínimo detectável será limitado apenas pelo ruído térmico da antena. No entanto, em um receptor

prático, o limite é determinado pelo quanto o ruído da antena amplificado, sobrepuja os outros ruídos dos estágios de entrada.

O grau para o qual um receptor prático se aproxima de um receptor ideal de mesma largura de banda, é dado pelo fator de ruído do receptor, que vem a ser a razão entre as razões sinal - ruído de um receptor ideal e o considerado. Sendo uma razão, o fator do ruído é geralmente fornecido em decibéis, não se modifican- do por mudanças na largura de banda.

Seletividade é a habilidade que um receptor tem de discriminar sinais de frequências que diferem do sinal desejado . A seletividade de um receptor é mostrada graficamente confeccio- nando-se uma curva que forneça a razão entre a intensidade do si- nal requerido nas várias frequências fora de ressonância para for- necer uma saída constante.

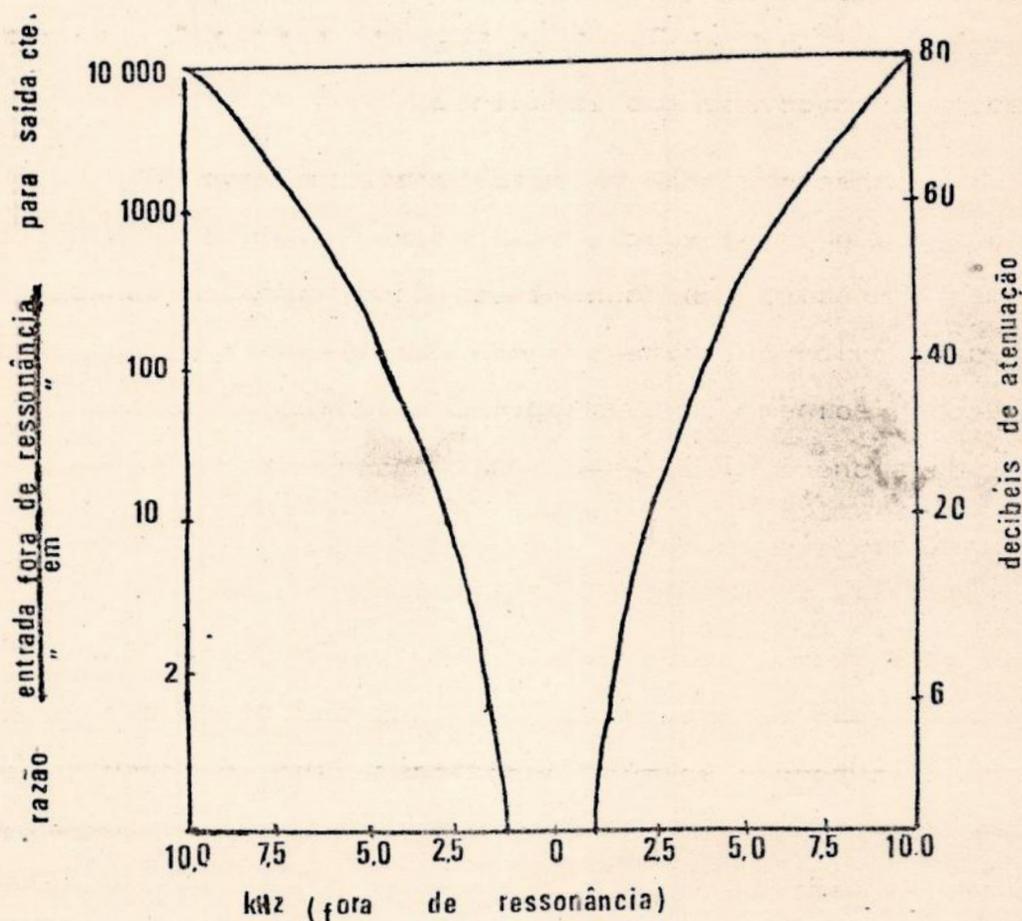


FIG. 14

Curva de seletividade de um moderno receptor superhete ródino: a resposta relativa é plotada contra desvios acima e abaixo da frequência de ressonância. A escala da esquerda é em termos de razão de voltagem, os passos correspondentes em decibéis são mostrados à direita.

A estabilidade de um receptor, é a sua capacidade de se manter sintonizado em um sinal sob condições de variação dos controles de ganho, temperatura e choque mecânico.

Paremos um instante para vermos um receptor e seu funcionamento operacional.

A figura mostra um receptor simples a cristal:

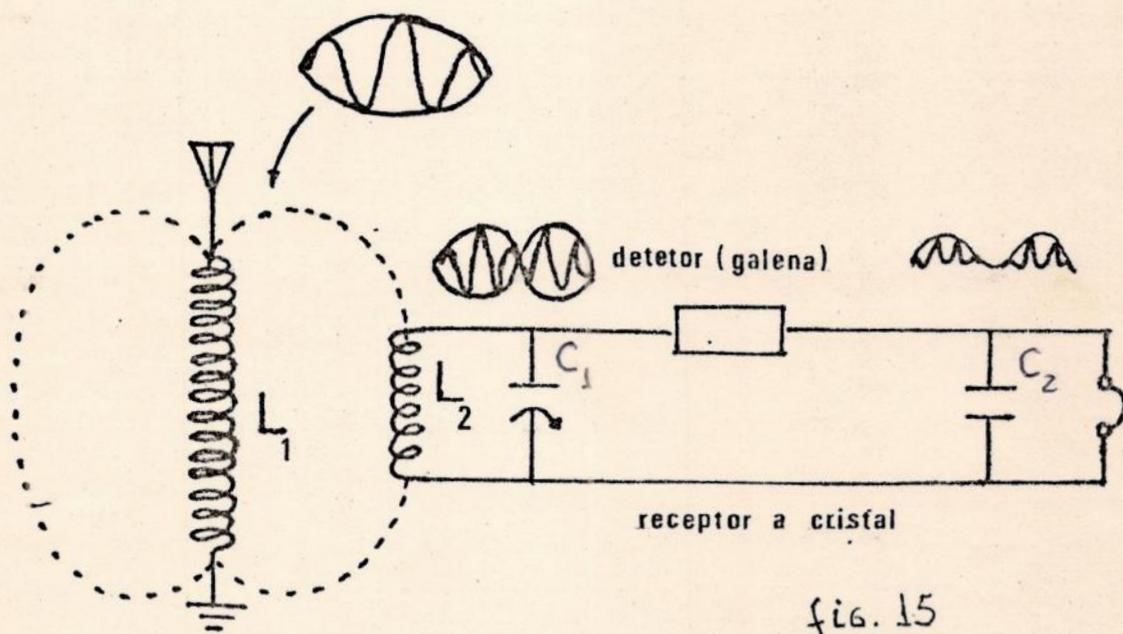


fig. 15

A radioonda, quando passa através da bobina L_1 da antena, produz linhas de força que crescem e decrescem centenas de milhares de vezes por segundo. Essas linhas de força, cortam a bobina secundária L_2 causando um fluxo de corrente. Se variarmos o capacitor C_1 de tal forma que o circuito composto de L_2 e C_1 esteja em sintonia com uma onda de rádio particular, o conjunto é dito estar em ressonância - um máximo de corrente flui no circuito.

A frequência de ressonância de um circuito LC é dada pela fórmula :

$$F = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \quad (8)$$

Onde: F = frequência
L = indutância da bobina
C = capacitância do capacitor

O detector a cristal neste caso é um elemento de gale^{na}, que tem a propriedade de permitir que uma corrente elétrica flua através dela em uma direção somente.

Sendo assim, um lado da onda de rádio terá permissão de passar através do cristal, mas o outro lado não. Em outras palavras a onda de rádio foi separada em duas; não havendo mais a parte negativa da onda. Agora esta corrente pode ser chamada contínua pulsante e será ela quem vai operar o fone de tal forma que a onda de rádio será convertida em ondas sonoras.

O capacitor C_2 serve como um filtro para a onda de corrente contínua pulsante composta de várias ondas de rádio-frequência. A sua utilização produz um sinal mais forte nos fones.

Este pequeno estudo das funções dos diversos componentes de um receptor tem o simples objetivo de introdução para que possamos sumariá-los de forma simples e mnemônica.

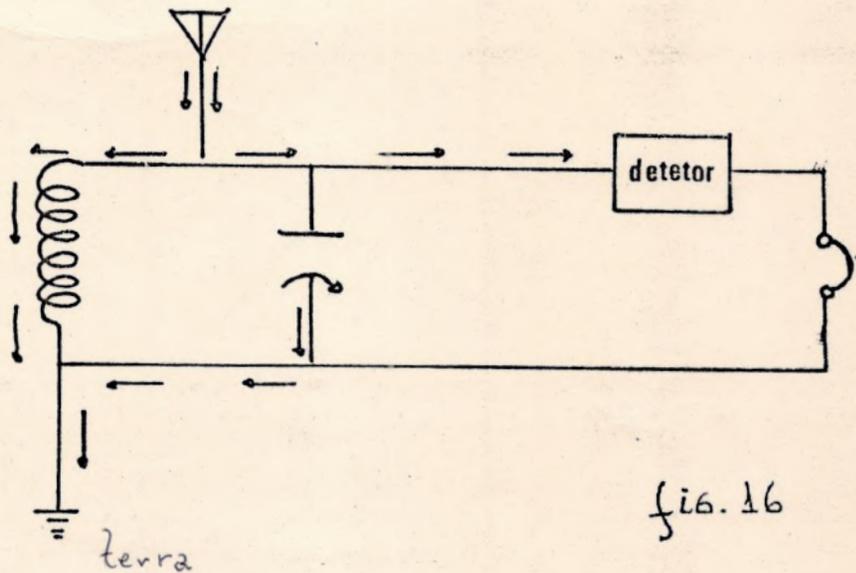
Queremos lembrar aqui, que, em termos básicos, todos os radioreceptores funcionam deste modo e as evoluções sentidas pelos novos rádios são apenas desenvolvimento de processo para que essas operações sejam melhor efetuadas.

Relembremos aqui, o que deve fazer um receptor:

- a) captar as ondas de rádio do espaço (isto é geralmente feito pela antena)
- b) seleccionar a radioonda particular que se quer escudar e rejeitar as outras.
- c) retificar ou detectar a radioonda.
- d) a corrente contínua pulsante deve ser convertida em ondas sonoras.

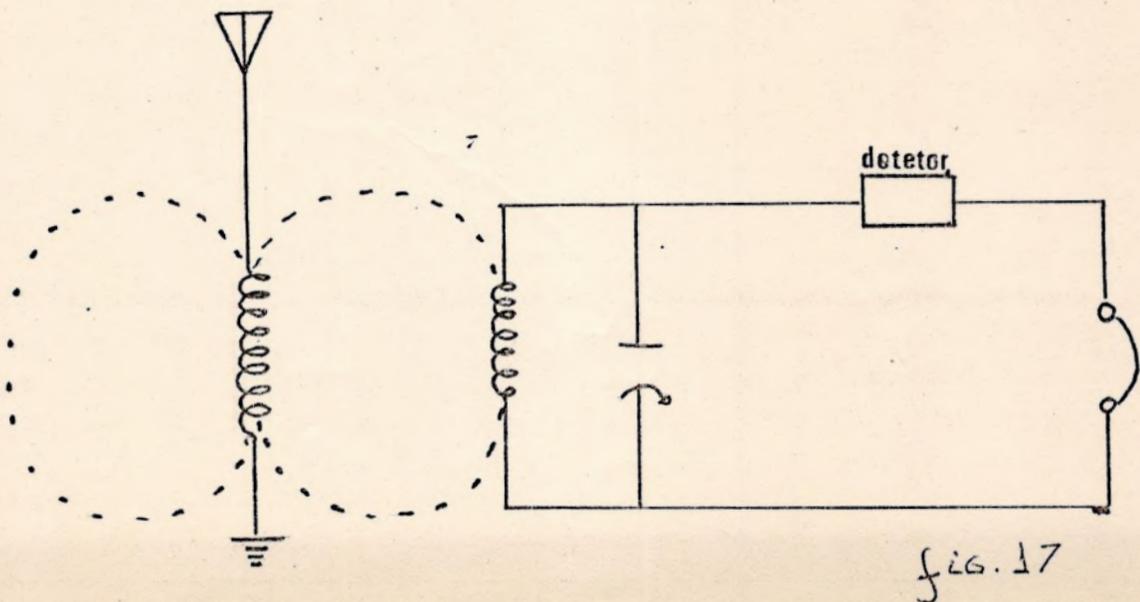
V. 2. FORMAS DE SINTONIZAÇÃO

Como já foi visto a sintonização é feita através de um circuito LC; a frequência de ressonância de sintonia.



O circuito LC imporá uma altíssima resistência à frequência de ressonância obrigando a onda a atingir o detector enquanto que todas as outras, de frequência diferente, irão diretamente à terra.

Outra forma de sintonização seria:



onde a onda da frequência desejada passa ao circuito através do acoplamento das bobinas, enquanto as outras irão direto à terra.

A utilização de uma ou outra forma é basicamente indiferente. Deve-se tomar cuidado apenas no acoplamento das linhas de força no segundo caso, disto dependendo a transmissão máxima de energia da antena para o circuito.

V. 3 - DETECCÃO E DETECTORES

A detecção é o processo de se extrair informação de uma onda portadora modulada (vide apêndice I).

Quando trabalhamos com sinais modulados em amplitude, a detecção envolve apenas a retificação do sinal de rádio-frequência. Trabalhando-se com recepção em frequência modulada o sinal deve ser convertido em um modulado em amplitude para a detecção.

Temos que certos parâmetros podem caracterizar um detector. são:

- . Sensibilidade: é a razão entre o sinal de saída e o de entrada.
- . Linearidade : é uma medida da capacidade de reprodução da forma exata da modulação do sinal de entrada.
- . Resistência ou impedância: é a que o detector apresenta ao circuito ao qual está acoplado.
- . Capacidade de Manuseio do Sinal: significa a habilidade de aceitar sinais de uma amplitude sem distorção.

O progresso do sinal através do detector ou retificador é mostrado nos diagramas seguintes:

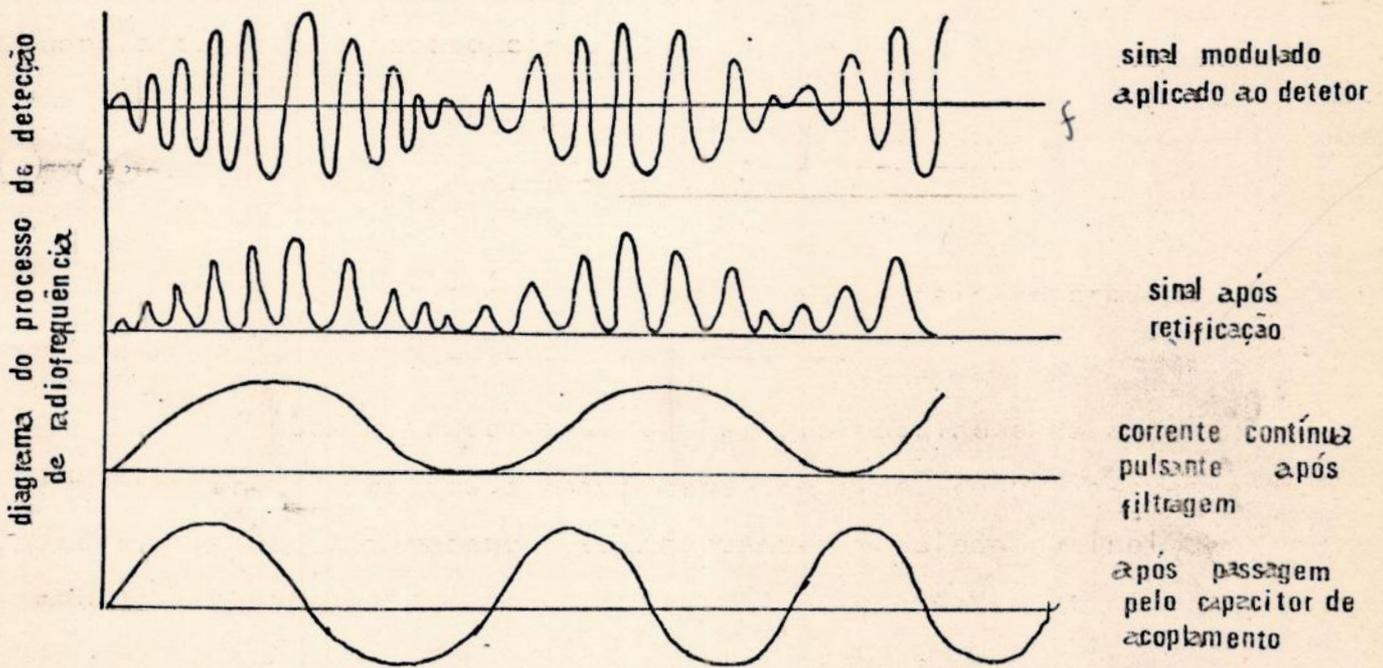


fig. 18

Colocando um amplificador de áudio depois do estágio de detecção e um amplificador de rádio frequência antes obtemos um dos mais simples tipos de receptor.

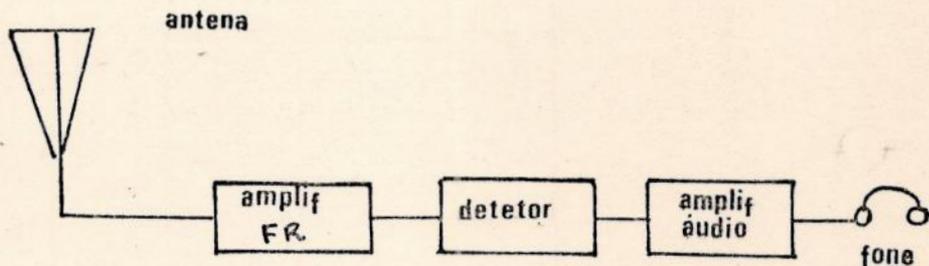


fig. 19

Temos como forma de recepção:

- receptor heteródino e de produto: a palavra heteródino significa a combinação de duas ondas para se produzir uma terceira. Em um receptor heteródino a radioonda captada pela antena é com-

binada com a gerada em um oscilador local - tendo uma amplitude de 5 a 20 vezes maior que o mais forte sinal que entra, para que sejam evitadas distorções.

O nome detector de produto foi dado aos detectores heteródinos nos quais atenção especial foi gasta em se minimizar, as distorções e produtos de inter modulação(M).

• receptores superheteródinos: neste, o sinal que entra é heterodinado para uma nova rádio frequência (frequência intermediária - (FI), amplificado e finalmente detectado.

O esquema de bloco de um receptor superheteródino pode ser visto na figura abaixo:

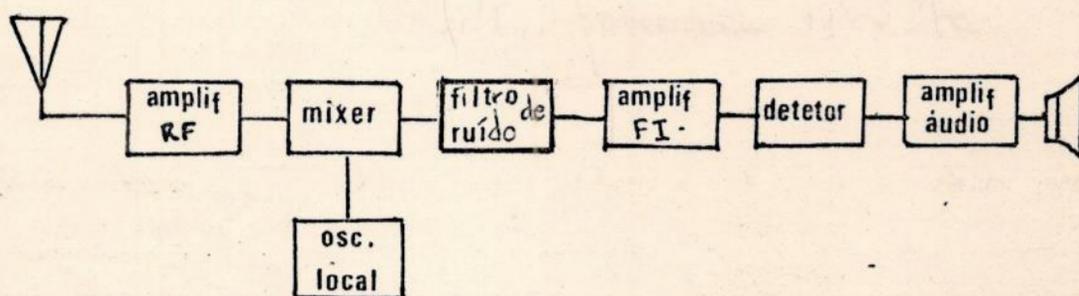


fig. 20

Este diagrama ajudará a fixação da função de cada elemento de um receptor superheteródino. A representação acima de cada componente dá uma noção do que acontece com o sinal.

A frequência é mudada modulando-se a saída de um oscilador sintonizável (oscilador local) pelo sinal que entra através da antena em um misturador ou conversor de tal forma que seja produzida uma outra frequência igual a frequência intermediária.

O processo de conversão permite amplificação em uma frequência relativamente baixa, a frequência intermediária.

Mais uma palavrinha ainda sobre recepção. Agora trocaremos o filtro de passagem estreita e o detector de envelope por um

filtro de passagem larga, um limitador e um discriminador de frequências. Vejamos o que ficou:

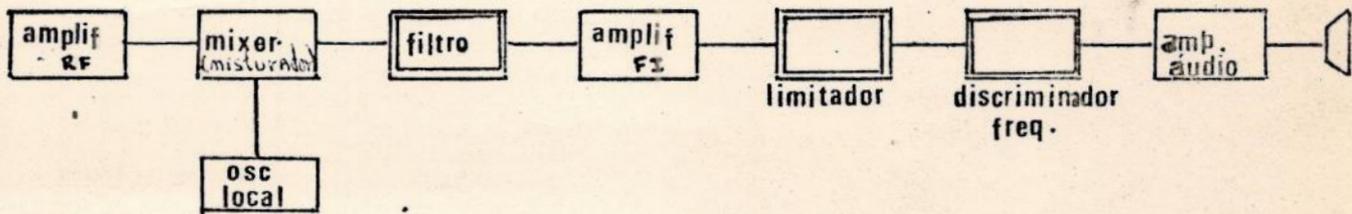


fig. 21

Temos, então, o que seria um receptor superheteródino para recepção em FM.

Fundamentalmente para se atingir uma sensibilidade de menos de um microvolt, um receptor de FM necessita um ganho de vários milhões, o que é muito para ser fornecido com estabilidade por uma única frequência. Por isso, o circuito superheteródino se tornou o mais comum.

Os sinais modulados em frequência podem ser válidos, após um estágio de mudança, em um receptor ordinário. O receptor é sintonizado para colocar a frequência da portadora em um dos lados da curva seletividade.

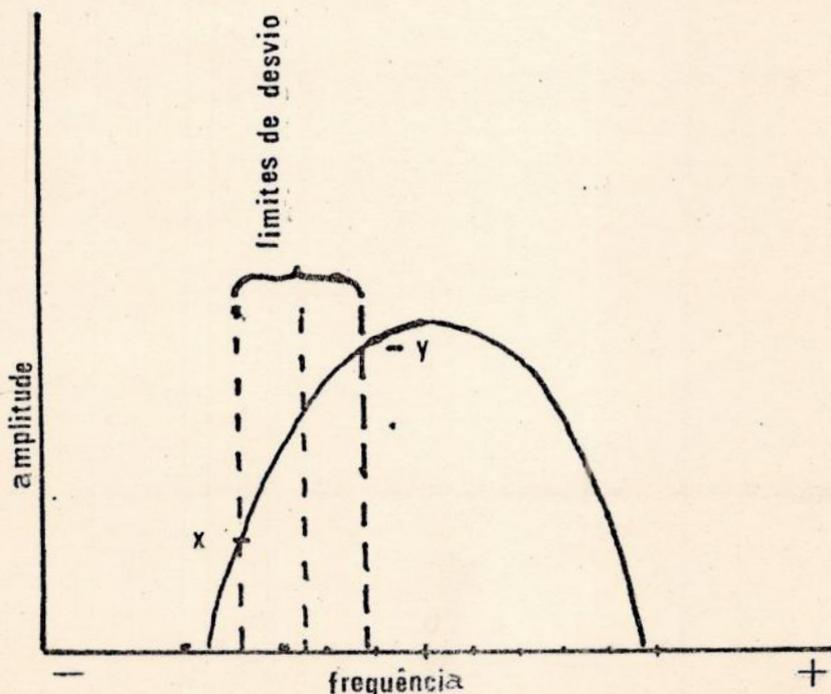


fig. 22

Característica de um detector de FM: inclinação de detecção usando o lado crescente da curva de seletividade para converter FM em AM para que possa haver subsequente detecção.

Quando a frequência do sinal varia com a modulação, ela oscila como indicado na figura anterior resultando em uma saída AM que varia entre X e Y.

Para aplicarmos melhor esta mudança de FM para AM veremos rapidamente o funcionamento do discriminador de frequência.

A característica de um tal detector é mostrada na figura:

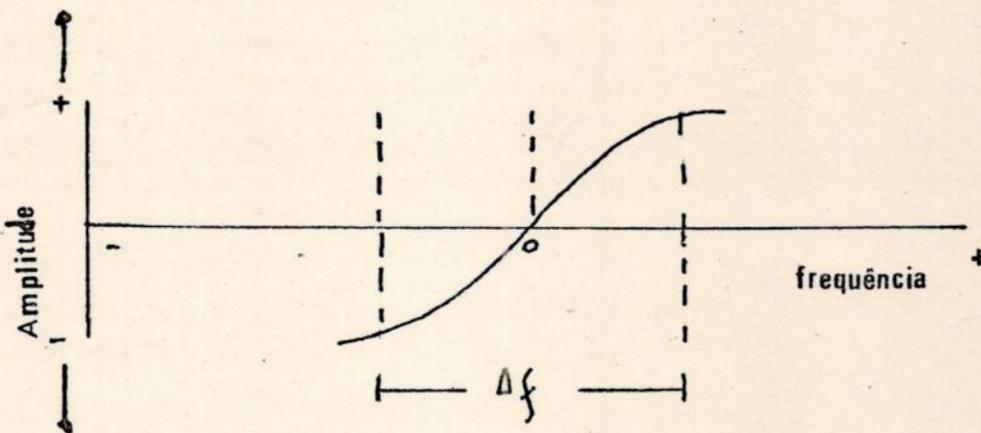


fig. 23

Quando o sinal não está modulado, e a portadora está no ponto 0, o detector não produz saída. Quando a entrada em áudio para o transmissor de FM varia o sinal para frequências maiores, a saída retificada cresce na direção positiva. Quando varia para frequências menores a amplitude de saída cresce na direção negativa. Sobre um ΔF , onde o discriminador é linear a conversão de FM para AM será linear.

Uma vez que os receptores radioastronômicos necessitam de muitas ampliações, os que utilizam o princípio superheteródico são geralmente preferidos pois a maior parte da amplificação do

sinal é efetuada na frequência intermediária.

A antena utilizada para fins radioastronômicos deve ser altamente sensível. Se uma pequena potência é irradiada pelos circuitos de saída do radiômetro, ela certamente será captada pela antena amplificada e reirradiada. Sendo a amplificação efetuada na frequência intermediária, isto não ocorrerá posto que a antena não será sensível às radioondas desta frequência.

V. 4 - INTEGRAÇÃO

No intuito de se ter um registro gráfico no lugar do au tofalante, devemos colocar um registrador para tal fim. Mas, o simples fato desta troca, não implicaria na impressão das voltagens. É necessário a introdução de um circuito integrador.

Sua função é integrar a potência do sinal observado durante um período de tempo. Quanto maior a constante de tempo, maior a probabilidade de eliminarmos as flutuações aleatórias na saída do receptor. Estas flutuações são causadas pelo ruído do sistema, isto porque o integrador "tira a média" da forma da onda durante a cons tante de tempo.

Com a integração termina o processo de tratamento do sinal para que forneça um registro gráfico.

VI. PROJETO EM RADIOASTRONOMIA EXPERIMENTAL

Em última análise, ou melhor, para um radioastrônomo, o que interessa não é o radiômetro em si e sim os dados por ele coletados.

Naturalmente pouca informação poderia ser extraída de um simples rabisco em uma folha de registro. É necessário conhecer matematicamente, ou pelo menos ter-se calculado, as diversas variáveis envolvidas na obtenção do registro.

Dividiremos agora essa parte do projeto principalmente em duas seções. Na segunda veremos uma pequena estação construída sob forte influência de um livro texto para amadores, e como tal, presta mais atenção na aquisição de algum resultado sem grandes esforços, no intuito de se analisar os dados recebidos se não especificadas as dimensões da antena, o tipo de receptor, a linha de transmissão e registrador, mais ainda, registraremos o preço e o local de aquisição das partes componentes na esperança de facilitar o trabalho daqueles que quiserem, por ventura, tentar algo mais neste campo experimental.

Numa primeira seção, procuraremos mostrar de forma prática a maneira de se obter as constantes do receptor, da antena e os testes necessários para uma perfeita utilização do conjunto.

VI.1. INTRODUÇÃO

A radioastronomia experimental, sendo uma ciência relativamente nova, possui poucos modelos estabelecidos e também muito poucos projetos padronizados em que um principiante possa conduzir com certeza absoluta de sucesso. Requer uma combinação de paciência, conhecimento teórico, experiência, prática e imagi-

nação. Se constitui em uma gratificante ocupação para aqueles que tem ou podem desenvolver essas habilidades.

A falta de equipamentos especializados e a carência de informação tornam-na muito difícil para um mero experimentador entrar na brincadeira e isso se constitui em seu lado negativo. No entanto, ela oferece oportunidades sem paralelos para elaboração de novos projetos e circuitos, que podem ser de grande utilidade.

A real oportunidade para aqueles iniciantes nesta ciência se constitui numa limitada variedade de diferentes projetos e em diversas classes de frequências que profissionais não têm tempo para explorar.

VI. 2. - EQUIPAMENTOS BÁSICOS

A figura abaixo mostra um diagrama em bloco de um sistema radiotelescópio básico.

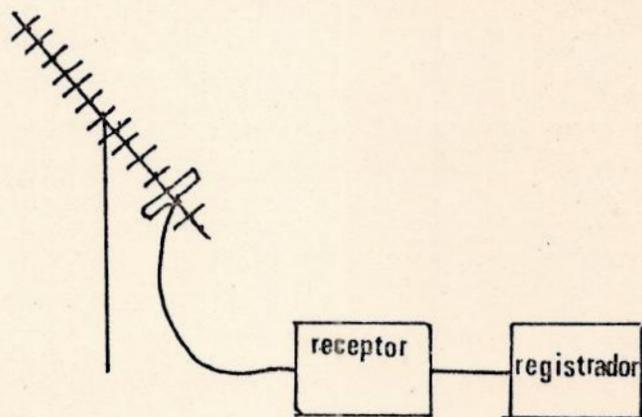


fig. 24.

Este diagrama é universal no sentido em que nenhum radiotelescópio quão pequeno e simples, ou grande e complexo pode estar completo, sem algum destes componentes de uma forma ou de outra.

Um sistema de radiotelescópio inclui uma antena e seu suporte, um receptor, uma linha de alimentação (localizada entre a

antena e receptor) e um sistema de leitura. A antena capta sinais de rádio de fontes remotas; a montagem orienta a antena; a linha de alimentação leva o sinal da antena para o receptor, esse módulo, amplifica e detecta o sinal; finalmente, o sistema de registro mostra ou registra a informação. Há algumas exigências sobre esses componentes: Por exemplo: a antena precisa ter um alto poder de ganho, superior ao que é normalmente exigido para telecomunicações, e precisa ser altamente diretiva.

Em Radioastronomia, somente antenas com ganho em excesso de 10 dB alcançam resultados satisfatórios. É necessário também que tenha ampla largura de faixa na ordem de 2MHz. Em relação ao receptor ele precisa ter alto ganho, baixo ruído, boa estabilidade e ampla largura de faixa. Essas exigências são difíceis de serem seguidas, pois são raramente encontradas em projetos das fábricas mas felizmente, a tecnologia de VHF e UHF desenvolveu-se a um ponto em que os receptores são bastante eficazes.

O estágio final no sistema elétrico é o sistema de leitura. Tal dispositivo pode ser tão simples quanto um voltímetro ou tão complexo quanto um registrador gráfico. Em qualquer dos dois casos, o meio de registro, precisa prover informação com razoável exatidão e segurança. (VER TABELA IV)

Poucos podem resistir a tentação de ouvir os sinais através do auto-falante. Com a notável exceção de sinais de Júpiter, sinais de rádio do espaço, não são muito excitantes, quando reproduzidos sobre um alto-falante. Alguém pode pensar que não, mas o sucesso, ou fracasso de uma instalação de um radiotelescópio, repousa na qualidade do equipamento de antena.

VI. 3 - PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM RADIOTELESCÓPIO

Dos vários tipos de antena que poderíamos escolher, optamos pelo Yagi. Procuraremos dar uma razão para esta escolha e não outra qualquer.

Os refletores parabólicos gigantesços se tornaram marca registrada da radioastronomia. Porém, abaixo da faixa dos gigahertz, estes refletores se tornam tão grandes e difíceis de manejar que apenas instituições financeiramente mais poderosas podem arcar com as despesas.

A resolução de um tal refletor é proporcional ao seu diâmetro, medido em comprimento de onda, da frequência observada.

Como visto, na parte de figura de antena, a largura do feixe à meia altura, determina a resolução dela. No caso de um refletor parabólico a largura do feixe é de aproximadamente 60° , dividido pelo seu diâmetro, em comprimento de onda, da onda observada.

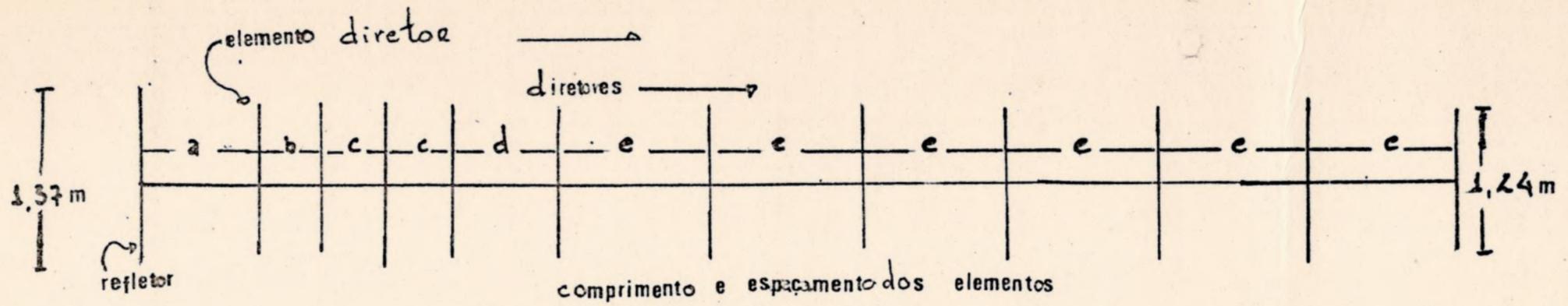
Trabalhando-se em 110 MHz ($\lambda = 2,73 \text{ m}$), para se ter uma resolução de 30° , seria necessário um refletor de 5,46m, enquanto que com uma Yagi esta resolução é facilmente atingida.

Um outro tipo de antena é o helicoidal. Também bastante prático e leve, sendo ótimo em medidas de polarização. A vantagem do helicoidal sobre o Yagi é sua maior largura de banda, isto é, com uma antena Yagi o maior ganho é obtido em sua frequência de ressonância, ao passo que com uma helicoidal as frequências laterais próximas da de ressonância atingem ótimo ganho.

A escolha de uma Yagi de 12 elementos deve-se ao fato da maior facilidade na variação da orientação, isto é, é mais simples de ser apontada para a fonte (calar a fonte). Além disso, a antena foi montada em altitude com azimute fixo.

São onze elementos parasíticos (10 diretores e um refletor) e mais um dipolo. A posição do refletor não é crítica mas os

47-a



- a = 0,64 m
- b = 0,23 m
- c = 0,25 m
- d = 0,54 m
- e = 1,08 m

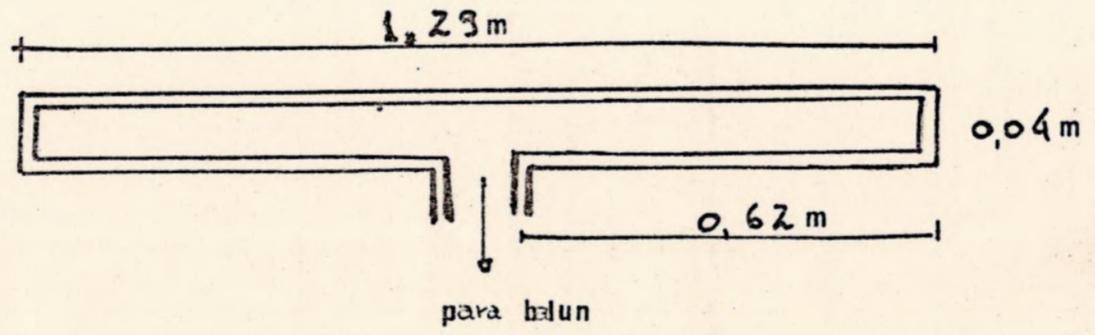
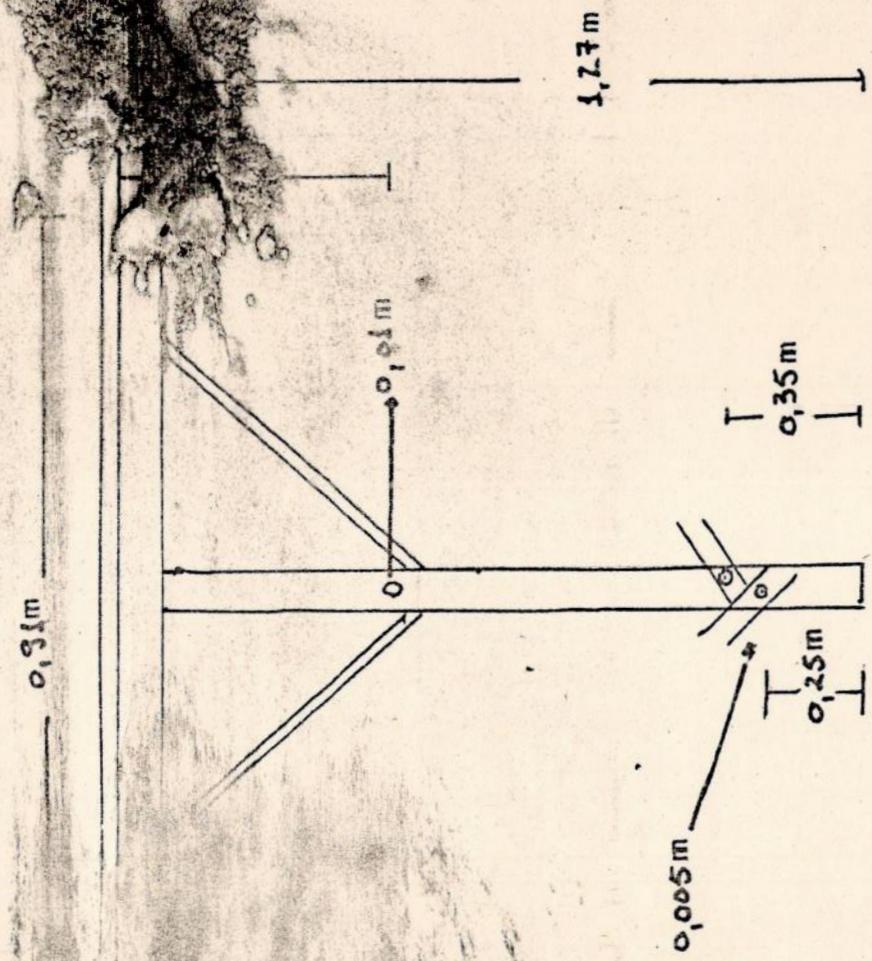


fig. 24.a

ALGUNS DADOS REFERENTES À ANTENA "YAGI" de 12 elementos.

47-b



SUPORTE EM FORMA DE "T", SOBRE O QUAL SÃO INSTALADOS OS ELEMENTOS DIRETORES E O ELEMENTO REFLETOR.

fig. 24b

diretores obedecem a regra básica de serem espaçados entre si de mais ou menos meio comprimento de onda; a posição exata sendo determinada experimentalmente. (fig. 24a)

O sintonizador utilizado foi um módulo de sintonização "UNITAC", adquirido na praça de São Paulo por Cr\$300,00 e posteriormente acopiado à um amplificador comprado na forma de kit, de marca IBRAPE por Cr\$6000,00 montado em São Paulo e testado em Atibaia, mostrando os seguintes resultados:

a. Potência de Saída

Medida pelo modo habitual (1 hora de aquecimento com 1/2 da potência nominal) forneceu os valores relacionados na tabela I.

4 Ω	43.49 W
8 Ω	27.75 W

tabela I).

Relação dos valores de potência de saída medidos.

b. Consumo

Medido com o aparelho entregando sua potência máxima, apresentou valores iguais a 160 W em 4 Ω , 110 W em 8 Ω .

c. Distorção harmônica

com carga de 8 Ω e na frequência de 1KHz, forneceu os valores constantes na tabela II.

Potência	Porcentagem
0,1 W	0,26%
1 W	0,32%
10 W	0,48%
maxima	1,5%

TABELA II

d. Distorção por intermodulação:

foi medida em 8Ω com sinal composto (60Hz/7000Hz) na relação 4:1. Os resultados obtidos estão na tabela III.

Potência

0,1	1,3 %
1	1,6 %
maxima	3,4 %

TABELA III

e. Sensibilidade:

O valor medido é aquele necessário para se obter a potência nominal.

Entrada

Valor medido

Sintonizador

1,8 V

f. Resposta de Frequência : - 5,7 dB de 50 a 30KHz

Esta característica foi medida a 1W de potência com carga de 8Ω na saída.

g. Relação sinal/ruído:

Em sintonizador medimos 72 dB.

Os elementos estão suportados por placas de madeira compensada, de 10 x 10 cm, sendo que estes blocos estão fixados por sua vez em um tubo de PVC de uma polegada de diâmetro. O comprimento total desse tubo é de 9,40 metros. Ele é colocado sobre um "T" (fig. 24.b) de madeira (sarrafo de 4 x 4 cm). Os dois furos no extremo inferior são feitos para a fixação de um suporte metálico cuja função é manter o tubo na horizontal. O furo de 3/4 de polegada serve para a fixação do "T" ao mastro através de um pino. No outro extremo foi adaptado um contra-peso feito com uma lata de sorvete Kibon na qual colocamos cimento. O mastro é um tubo galvanizado de 6 metros de comprimento, com 3,7 cm de diâmetro, sendo que 80 cm de mastro es

tão abaixo do nível do solo.

Por motivo de maleabilidade, isto é, poder captar-se a radiação de uma rádio-fonte localizada, digamos, no zênite, seria necessário que o tubo-suporte dos elementos, ficasse a mais de 4,5 metros de altura. No entanto, nossa antena está colocada abaixo desta altura uma vez que não conseguimos resolver o problema de colocá-la na posição final.

Em termos sequenciais relembremos a antena: tem um refletor, um dipolo dobrado e uma sequência de 10 diretores.

No dipolo é presa uma das extremidades do balun através de parafusos e prendedores. O balun foi construído obedecendo-se ao esquema da plancha. A outra extremidade do balun foi soldada a um dos extremos do cabo coaxial RG-58/U, com 16 metros de comprimento.

Entre o cabo coaxial e o receptor fica o medidor de onda da estacionária, terminando o conjunto com o registrador.

O medidor de onda estacionária é na realidade um conjunto 4 em 1, isto é, o aparelho é composto de um medidor da razão de onda estacionária, de modulação, de intensidade de campo relativa e de potência. O conjunto foi comprado em forma de Kit para montagem.

Quanto a parte de registro de dados, foi nos cedido um registrador gráfico pertencente ao próprio Observatório do Valongo.

VI - 4 - Testas a serem efetuadas com os componentes do radiotelescópio.

Para se ter um bom aproveitamento das observações é necessário que a antena esteja construída em local de baixo ruído elétrico, para que este não venha a prejudicar a análise dos sinais das fontes. Mesmo longe de cidades, que contribuem com uma interferência muito grande nos sinais, existem ruídos que estarão sempre presentes nas observações — que são os gerados pelo céu, pelo receptor e até mesmo pelo terreno próximo à antena. A localização da antena é, pois, fundamental, visto que de nada adiantará termos uma razão sinal ruído $\ll 1$. Procura-se localizá-la em regiões que não sofram muita interferência, como por exemplo em vales, onde as fontes de ruído geralmente vindo de cidades próximas, sejam barradas antes de chegar à antena.

No caso de nossa antena, não podemos dizer que o local fosse o melhor, pelo contrário, sua localização no centro da cidade do Rio de Janeiro concorreu para que tivéssemos bastante interferência.

Além da localização, é necessário que verificamos também se a taxa de onda estacionária na linha de transmissão atinge a unidade na faixa que estamos operando, isto é, temos que ter a relação abaixo igual a 1.

$$TOF = \frac{E_i + E_r}{E_i - E_r} = 1$$

Para que isto seja possível $E_r = 0$ (onda refletida nula)
onde E_i é a onda incidente.
 E_r " " " refletida.

A condição de $T_r = 0$, na prática é bastante difícil de se conseguir, mesmo em grandes antenas. A nossa antena apresentou a componente estacionária, isto é, a taxa de onda estacionária diferente da unidade.

Devemos nos atentar também para a impedância do sistema e a do receptor. Elas devem ser "casadas", incluindo-se aí o casamento entre a terminação do dipolo e a linha de transmissão. No caso da nossa antena utilizamos um balun para fazer esse casamento. Na verdade esse balun era constituído por um cabo coaxial colocado no início da linha de transmissão (capítulo IV - 2). Devido a impedância depender de diversos fatores, tal como visto em IV-2, foi-nos bastante difícil fazer o casamento.

Precisávamos saber se nossa antena tinha melhor desempenho na frequência que pretendíamos trabalhar ou se era mais viável em outra frequência próxima. O teste descrito abaixo foi então utilizado.

Colocamos um transmissor em frente à antena, numa frequência abaixo de 100 MHz e observamos a deflexão no voltímetro que estava acoplado a ela. Variando a frequência do transmissor lemos aquela em que o voltímetro acusava deflexão máxima, isto é, aquela na qual a antena estaria recebendo maior informação. Obtemos uma frequência bem próxima à desejada.

Quanto ao amplificador o teste foi o seguinte:

Nesse objetivo é determinar o ruído de próprio, ou melhor sua temperatura de ruído. Para isso colocamos o gerador de ruído a uma determinada temperatura T, correspondente à região mais baixa de sua faixa de variação. Associado a ela temos uma deflexão no voltímetro. É dada então uma atenuação de 3 dB, acusando o voltímetro uma certa discriminação em voltagem. Aumentamos a sai-

de de ruído do gerador até a antiga posição do ponteiro. A diferença entre as duas temperaturas lidas é a de ruído do receptor.

Para o cálculo da temperatura de antena com o auxílio do registrador gráfico, fazemos uso do seguinte exemplo:

Colocamos em frente a antena uma determinada resistência a 300 K. A potência gerada por ela é dada pela fórmula abaixo:

$$W = 4 KT B, \text{ onde } B \text{ é a banda passante.}$$

Se, como exemplo pegarmos uma banda de 10^6 Hz teremos uma potência da ordem de 10^{-15} W.

Quando, então, colocamos a resistência em frente à antena, haverá no registro uma deflexão de 62 mm. Ao tirarmos a resistência e apontarmos para a fonte essa deflexão é de 113 mm. Para sabermos a temperatura de antena, basta apenas fazer uma regra de três, tendo T_1 ao redor de 546 K.

Podemos também determinar a temperatura de antena com o auxílio do voltímetro, bastando para isso pegarmos primeiro uma determinada resistência posta em frente a antena e medirmos a deflexão no voltímetro. Logo após registrarmos a deflexão devido a uma outra resistência com temperatura diferente da primeira, de modo que tenhamos T_1 e T_2 . A diferença de temperatura $T_2 - T_1$ corresponde uma diferença em voltagem $V_2 - V_1$. Apontamos a antena para o céu (ausência de fontes) e registramos a voltagem, tendo o cuidado de tirar as resistências. Agora apontamos para a fonte e fazemos o registro da voltagem. A diferença $V_{\text{fonte}} - V_{\text{céu}}$ corresponde a temperatura de antena. O cálculo de T_2 é apenas uma regra de três.

* A deflexão depende da fonte observada.

sistema de leitura

Tipos de Registro	Vantagens	Desvantagens
Vôltímetro	Prontamente estimada	Requer constante atenção durante o registro.
Registrador Gráfico	Requer pouca ou nenhuma atenção durante o registro.	Inicialmente caro.
Gravador	Requer pouca atenção durante o registro. Registro permanente. Pode ser usado para outras finalidades	Informação transcrita em um tempo maior.

TABELA IV

VI.4.e. - SUMÁRIO DE ANTENAS E SUAS CARACTERÍSTICASALGUNS tipos DE ANTENAS

Antena (Tipo)	Vantagens	Desvantagens
Sistema de multielementos.	Alto Ganho. Construção relativamente simples. Permite a utilização de várias técnicas para casamento de impedância	Estreita Largura de banda. Polarizada em um Plano.
Açoplamento de várias Antenas	Alto Ganho Possível polarização Linear. O arranjo permite aumentar a Largura de Banda. Várias formas de casamento de impedância.	Mecanicamente mais complexa. Necessita de Grande Espaço.
Hélice Simples	Banda Larga Inerente Polarização Circular Ganho Moderado	Mecanicamente mais complexa em comprimentos de onda mais longas. Polarizada em uma direção.
Arranjo Helicoidal	Alto Ganho Possível Polarização Linear ou Circular. Banda Larga Inerente.	Mecanicamente mais complexa em algumas frequências.
Refletor Parabólico	Extremamente diretiva Alto Ganho.	Extremamente difícil de ser construído.

TABELA V

CARACTERÍSTICAS DE GANHO DOS RADIOTELESCÓPIOS
e SENSIBILIDADE DO RECEPTOR

Parâmetro	Mínimo	Normal	Excelente
Antena (Ganho)	10 dB	15 dB	20 dB
Sensibilidade do Receptor	5 μ V	1 μ V	0,5 μ V
Receptor de Largura	100 KHz	2 MHz	6 MHz

O mínimo é capaz de detectar sinais de Cassiopéia A e do Plano Galáctico. O Normal e Excelente, são capazes de trabalhar, no mínimo, cinco fontes fora do sistema solar.

TABELA VI.

VII - CONCLUSÃO

Como dito na introdução, nosso maior interesse esteve, durante todo o projeto, no fato de entendermos com alguma profundidade as diversas variáveis envolvidas na coleta de dados por um radiotelescópio. Após passarmos por um período de inócua efusividade, caímos na realidade de forma abrupta. Não desistimos porém, de chegarmos a alguma conclusão e neste sentido reformulamos este projeto, na esperança de que uma nova tentativa não seja mais uma vez frustrante.

Passamos agora a enumerar os diversos erros que cometemos e os poucos resultados práticos:

. Local - O centro da cidade do Rio de Janeiro, como seria de se esperar não é de forma alguma adequado à experiências deste gênero, uma vez que, na nossa posição, a própria emissão do Sol é menor que o ruído produzido pelas diversas emissoras de Rádio e televisão.

. Equipamento - Apesar de termos montado um amplificador de potência relativamente bom, não foi suficiente para causar qualquer deflexão do registrador. E mesmo se fosse possível, não haveria muito a extrair deste registro, uma vez que não dispusemos em absoluto de um sistema de aquisição de dados, a saber: - um computador que processasse os resultados. No intuito de resolvermos esse problema, passamos um bom tempo estudando um micro-processador bastante comum (INTEL 8080) para chegarmos à conclusão que era por demais pequeno para as tarefas a que se propunha.

. Inexperiência - Como é fácil imaginar, dois estudantes de astronomia sem nenhum conhecimento em eletrônica, poderiam no máximo, organizar "caixas pretas", para, desta organização, tirar o máximo. E foi o que fizemos, sem nenhuma inovação no campo da eletrônica.

. Custo - Apesar de ser discernível em um auto falante, a variação da estática, quando apontamos a antena para o Sol, a amplificação do sinal não é suficiente. O custo de um aparelho que chegasse a mostrar bons resultados no centro do Rio de Janeiro, é proibitivo. Posto que deveriam ser construídos filtros que barrassem todas as frequências que não a de observação.

Apesar destas conclusões parecerem por demais duras e frustrantes, não o são de forma alguma. Não vemos a ausência de resultados animadores como derrota e sim como um estímulo para experiências futuras, pois adquirimos a prática e em concordância com a opinião do Prof. Oswaldo Frota Pessoa: "Aprende-se melhor quando se aprende durante o próprio ato de buscar e usar o conhecimento".

No sentido de demonstrarmos o quanto este projeto nos foi útil e animador, daremos algumas sugestões para os que quiserem realizá-las em local apropriado e com melhores condições financeiras.

A primeira unidade que cremos irá necessitar o experimntador, será um pré-amplificador de 110 MHz, que pode ser adquirido no mercado como "Booster" para UHF. Ei-lo representado na figura abaixo:

Ou o que seria melhor, a construção do aqui esquematiza do.

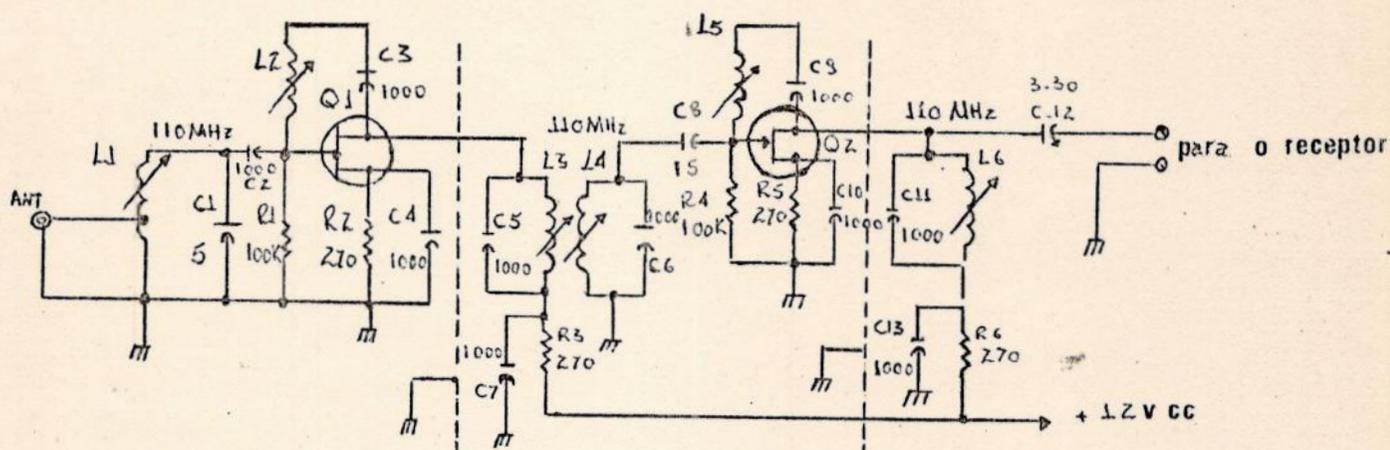


fig. 27 L₁ - 4 voltas de fio esmaltado nº 24, espaçadas de 0,3 cm
 L₂, L₅ - 8 voltas de fio esmaltado nº 28, no sentido trigonométrico.
 L₃, L₄, L₆ - 5 voltas de fio esmaltado nº 24, espaçadas de 0.3 cm.
 Q1, Q2 - FET N-canal
 Todas as espiras com diâmetro de 0,9 cm em uma barra de ferro

Outra sugestão é no sentido de se estudar ondas polarizadas de Júpiter. Para isso usariamos um fio de alumínio de 0,3 cm de diâmetro para se construir o seguinte sistema:

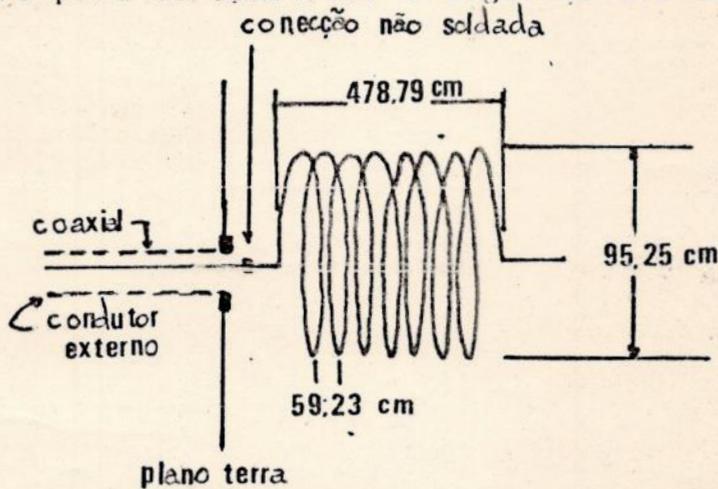


fig. 28 Detalhes elétricos de um antena helicoidal de alto ganho em 110 MHz

Estes projetos são um complemento do que foi mostrado de maneira satisfatória em campo aberto, livre de interferências eletromagnéticas.

Queremos dizer ainda que continuamos no ramo, isto é, estamos construindo o mesmo sistema que aqui apresentamos para ser instalado em um sítio no interior de Minas Gerais. O novo projeto contará com tudo o que foi aqui descrito e mais uma calculadora HP 9810, como sistema de aquisição de dados.

Contamos com a experiência aqui adquirida para a continuação de nosso sonho de se construir um aparelho eficiente.

Finalmente, queremos agradecer a presença do Prof. Jorge de Albuquerque Vieira, que nos auxiliou durante os vários períodos que tivemos dúvidas.

APENDICE I

TIPOS DE MODULAÇÃO

I. Modulação em amplitude (AM)

A figura abaixo mostra o desenho de um sinal de rádio-frequência não modulado:

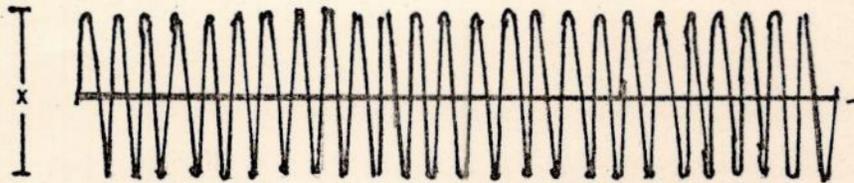


fig. 29

onde o gráfico pode estar representando, tanto corrente quanto voltagem, contra o tempo ou o espaço.

Assumimos ser uma onda senoidal com frequência desejada e aplicando-se a esta uma outra de "audio-frequência".

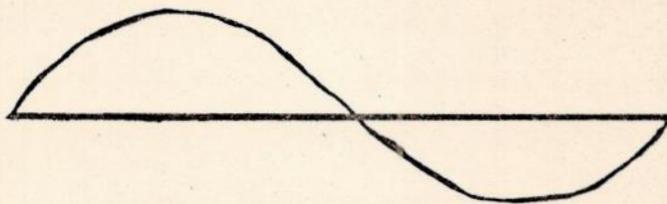


fig. 30

Obtemos:

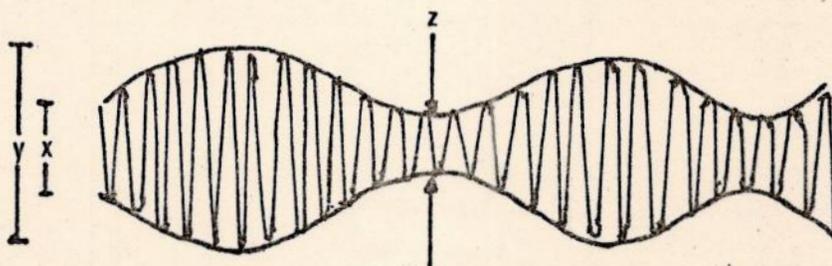


fig. 31.

Esta " audio-frequencia " é muito menor que a frequência da portadora (uma condição necessária para boa modulação). Quando a voltagem de modulação é positiva, acima do eixo, a amplitude do envelope cresce acima da amplitude não modulada. Caso contrario abaixo do eixo, a amplitude do envelope decresce. Portanto, o envelope cresce e decresce com a polaridade e amplitude da voltagem de modulação

Um outro sinal de modulação causará uma modulação mais forte :

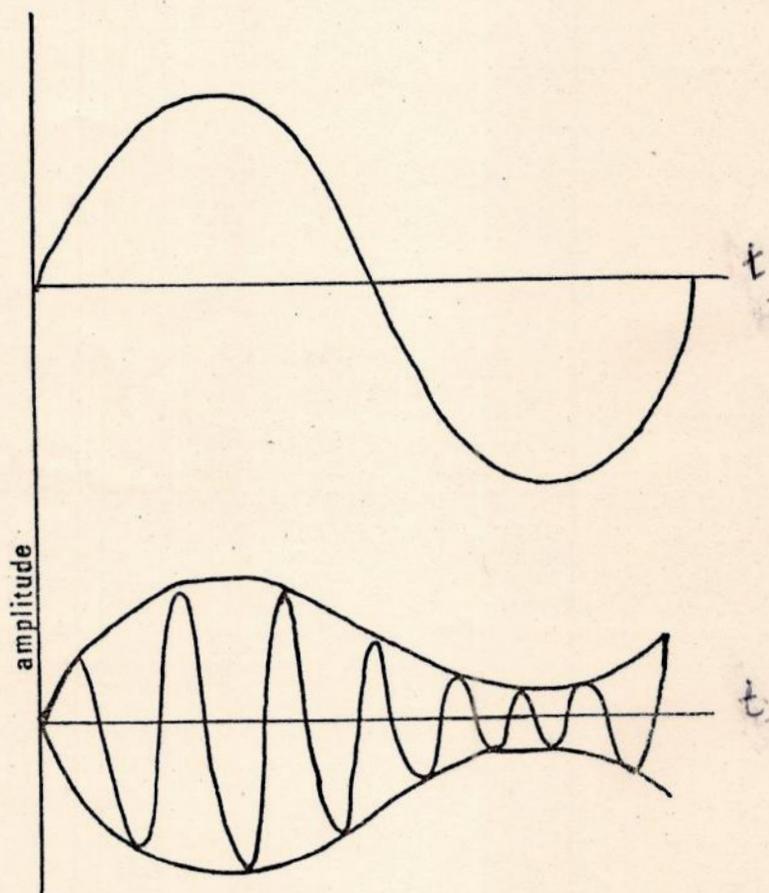
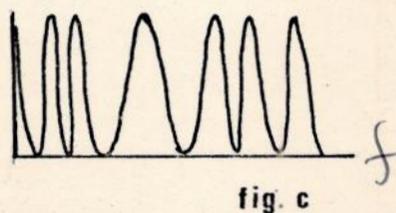
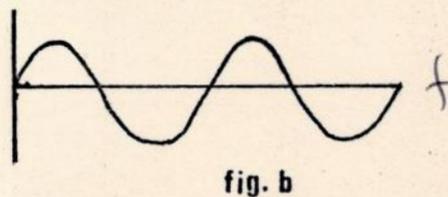
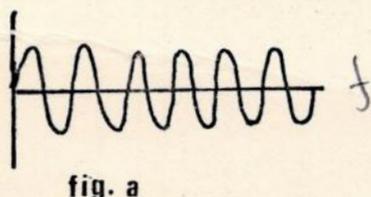


fig 32

sendo que neste caso a amplitude do envelope será dobrada no instante em que a voltagem de modulação atingir seu pico positivo . No pico negativo de voltagem de modulação a amplitude se torna zero.

2. Modulação em Frequência (FM)

Tomando novamente um sinal de rádio-frequência não modulado, como o mostrado na figura a) e aplicando um sinal de modulação, como o da figura b), encontraremos um sinal como o visto na figura c).:



figs. 33

Assim, pode-se notar que a frequência da portadora cresce a metade do ciclo do sinal de modulação e decresce durante a metade do ciclo de polaridade oposta.

A variação na frequência da portadora (desvio em frequência) é proporcional à amplitude instantânea do sinal de modulação de tal forma que o desvio é menor quando este é menor, e maior quando o mesmo atinge um máximo negativo ou positivo.

APENDICE IITÉCNICAS DE OBSERVAÇÃO

a) O conceito de temperatura de brilhância e temperatura de antena.

É da natureza das observações radioastronômicas descrever a radiação em contínuo em termos da emissão de um corpo negro, e a radiação em raia em termos de emissão de um gas em ETL (Equilíbrio Termodinâmico Local). Um corpo negro na temperatura T_b emite, por segundo, por Hz, steradiano e m^2 na frequência ν a energia.

$$A.1 \quad \frac{B_\nu}{W m^{-2} Hz^{-1} ster} = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{\exp\left\{\frac{h\nu}{kT_b}\right\} - 1}$$

$$\approx \frac{2kT_b \nu^2}{c^2} = \frac{2kT_b}{\lambda^2} \quad \text{para} \quad \frac{h\nu}{kT_b} \ll 1$$

com $k = 1.38 \times 10^{-23}$ W seg/ $^{\circ}$ K, a constante de Boltzmann.

A aproximação de Raleigh Jeans, da Lei de Planck é válida para comprimento de ondas centimétricos, mas também pode ser usada na faixa milimétrica com umas poucas exceções. Aplicada a uma fonte astronômica, B_ν é chamada Brilhância de superfície e T_b é chamada temperatura de brilhância. A densidade de fluxo é obtida integrando-se a brilhância de superfície sobre o ângulo sólido subtendido pela radiofonte.

$$A.2 \quad \frac{S_\nu}{W m^{-2} Hz^{-1}} = \int_{\Omega_s} B_\nu d\Omega = \frac{2k}{\lambda^2} \int_{\Omega_s} T_b d\Omega = \frac{2k}{\lambda^2} T_b \Omega_s$$

Onde supomos que a temperatura de brilhância é constante sobre o ângulo sólido da fonte.

É importante, no entanto, notar que a temperatura de brilhância não corresponde necessariamente à temperatura cinética da fonte (que não é um corpo negro) e a equação A-2 não poderá ser usada para computar a densidade de fluxo da fonte em outra frequência

A temperatura de brilhância do Sol, por exemplo, é cerca de 6.000 °K na região óptica, Infravermelha e faixas milimétricas mas pode atingir valores de 10^{10} K em comprimentos de onda métricos.

Apenas uns poucos objetos, tais como planetas e regiões H II, irradiam como corpos negros em comprimentos de onda radio e a temperatura de brilhância observada tem uma relação simples com a temperatura física.

A escala de intensidade de observações radioastronômicas é calibrada em termos de temperatura de antena $T_a/^\circ\text{K}$. Para entender o significado desta quantidade e sua relação com a temperatura de brilhância T_b . Vamos considerar um radiômetro (fig. 34) cuja entrada pode ser conectada à um rádio telescópio e à cargas casadas de temperaturas diferentes.

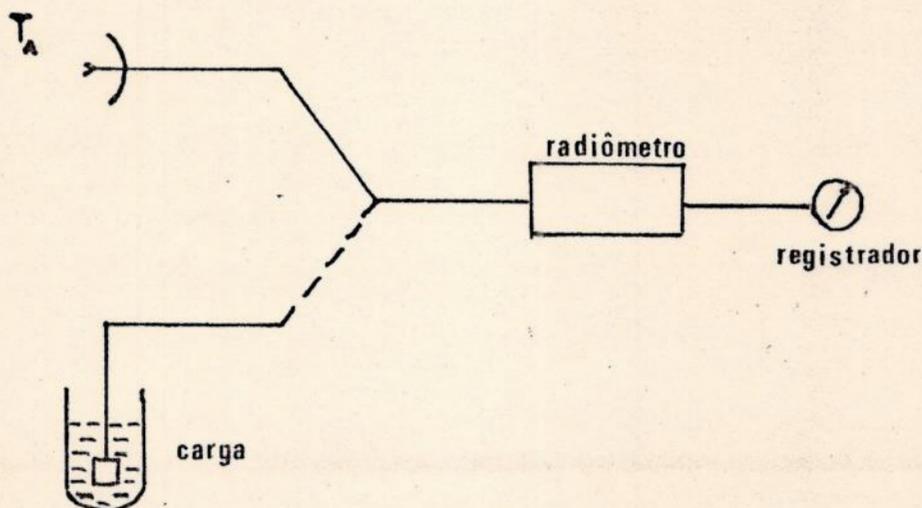


fig. 34

O radiômetro recebe, da carga com temperatura T_1 , a potência por Hz de largura de faixa.

A3 $\frac{P_A}{W \text{ Hz}^{-1}} = k T_1$ onde $k =$ constante de Boltzmann como mos -

traremos mais além, a potência recebida pela antena e transferida à entrada de radiometro.

A-4
$$\frac{P_A}{W \text{ Hz}^{-1}} = k \frac{1}{\Omega} \int_{4\pi} T_b(\theta, \phi) f(\theta, \phi) d\Omega$$

com $T_b(\theta, \phi)$ a distribuição de temperatura de brilhância, $f(\theta, \phi)$ a figura da antena, e $\Omega = \int f(\theta, \phi) d\Omega$ o ângulo sólido da antena.

Comparando as equações (3 e 4) vemos, que o radiômetro recebe a mesma potência de entrada do telescópio e da carga se

$$T_A = T_A = \frac{1}{\Omega} \int_{4\pi} T_b(\theta, \phi) f(\theta, \phi) d\Omega$$

Esta é a definição de temperatura de antena. Ela permite uma calibração conveniente e direta do radiômetro. Duas cargas casadas à temperaturas diferentes T_1 e T_2 são conectadas à entrada do receptor. Comparando-se as deflexões correspondentes em um registrador gráfico (fig.35) a intensidade de radiofonte pode ser calibrada em temperatura de antena.

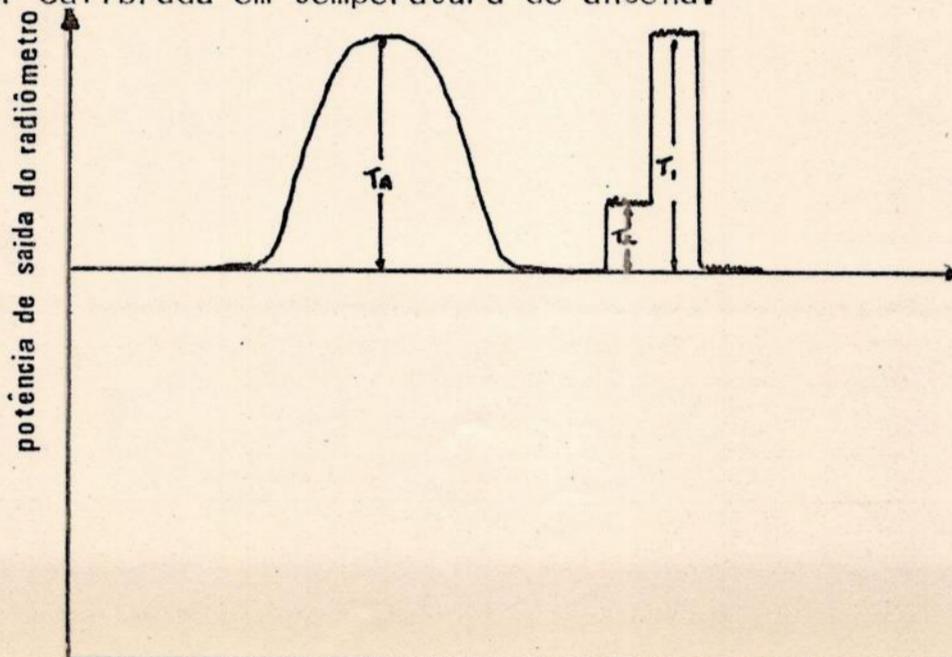


fig.35

BIBLIOGRAFIA

1. American Radio Relay League : The Radio Amateur's Handbook, Novington, 1978
2. Amos, S.W.: Radio Receivers and Transmitters, London, Chapman e Hall, 1968
3. Boone , E.Milton: Circuit Theory of Electron Devices , New York, John Wiley, 1973
4. Carrol, John: Modern Transistor Circuits, New York McGraw-Hill, 1970
5. Centro de Radio Astronomia e Astrofísica: Radioastrofísica e radiociência- Contribuições Científicas publicadas em 1971/1974, S.Paulo Universidade Mackenzie
6. Dawley, R.L.ed.: The Radio Handbook, Califórnia, Editors and Engineers, 1974
7. Geffe, Philip R.: Simplified Modern Filter Design, London, Iliffe, 1973
8. Kraus, J.D. : Radio Astronomy. New York, McGraw-Hill 1966
9. Lenk, John D.: Manual for Operational Amplifier users Virginia , Huston, 1976
10. Meeks, M.L. : Radiotelescopes. New York, Academic Press 1976
11. Orr William I. : Radio Handbook 20 ed Indiana Editors and Engineers (1975)
12. Pacholczyk, A.G. : Radio Astrophysics; Nonthermal Processes in galactic and Extragalactic Sources San Francisco, Freeman 1970
13. Parker, Earl R. : Materials data book for engineers and scientists , New York, McGraw-Hill 1977
14. Sky and Telescope : Radio Telescope for Amateur vol 55 nº 1 a 6

IX - GLOSSÁRIO DE TERMOS TÉCNICOS

CAG-(AGC) CONTROLE AUTOMÁTICO DE GANHO:

Constitui-se um meio de controlar o ganho da secção receptora, por meio de realimentação, de modo a ajustá-lo à potencia do sinal de entrada. No caso ideal, o nível de saída no alto-falante deveria permanecer constante, ao longo de uma extensa faixa de sinais de entrada, o sinal de realimentação é baixo e o ganho é elevado; para sinais de grande intensidade, o laço de realimentação atenua o ganho, a fim de evitar a sobrecarga.

AM:

Sistema de transmissão de informações pela modulação ' em amplitude, ou seja, variação do nível de uma onda portadora de acordo com o sinal modulador. O sinal composto de AM contém uma portadora e duas bandas laterais, que são a imagem uma da outra e carregam a informação a transmitir.

BEAM ANTENNA (ANTENA TIPO FEIXE)

Também chamada de antena direcional, é o tipo que favorece apenas uma direção. Ela "dirige" a potência de saída do transceptor, assim como o refletor de um farol concentra a luz de uma pequena lâmpada, transformando-a em forte feixe de luz.

A elevação aparente no ganho é chamada de ganho da antena quanto mais o sinal é concentrado por ela, mais direcional ' ela é.

CABO COAXIAL:

Linha de transmissão empregada para acoplar sinais do transceptor à antena e vice-versa. É composto por um condutor central isolado, rodeado por uma malha de alumínio ou cobre. Todos os cabos coaxiais introduzem algumas perdas, o que é especificado em dB por 30,48m.

dB:

Abreviação de decibel medida de intensidade de sinal, comparada a uma certa referência. Para tensão, a relação dB é determinada pela fórmula $dB=20 \log V_1/V_2$. Para potência, a relação é $dB=10 \log P_1/P_2$. Quando a potência é dobrada, temos um ganho de 3dB.

Os decibéis são geralmente utilizados para expressar quando um sinal vai ser simplificado por um certo estágio, o nível de um sinal em relação ao ruído de fundo (S/R ou relação sinal/ruído) ou a variação de um nível de saída. Ao longo de uma dada faixa de frequência.

DISTORÇÃO:

Modificação indesejável da fase ou amplitude de um sinal, que ocorre quando um estágio amplificador está se comportando não linearmente. Todos os amplificadores possuem uma certa não linearidade, mas os melhores são projetados de modo a reduzi-la ao mínimo possível. Um amplificador não linear produzirá um sinal que aparecerá distorcido na tela de um osciloscópio e que conterá energia em frequências diferentes daquelas do sinal de entrada. Tais resultados são conhecidos como harmônicos, assim como a distorção de fase, etc. As não linearidades ocorrem tanto em amplificadores AF como RF.

FILTROS:

No sentido mais amplo, filtros são dispositivos que favorecem ou atenuam mais um determinado grupo de frequências, em relação aos outros. Um filtro passa baixas permitirá a passagem de todas as frequências, abaixo de um certo ponto de corte, atenuará todas as que estiverem acima desse ponto. Um filtro passa-altas trabalha da maneira inversa, dando passagem a todos os sinais acima do ponto de corte. Os filtros passa-banda permitem a passagem de sinais retirados entre os limites superior e inferior de uma determinada faixa, às custas dos sinais situados fora dessa faixa.

Os filtros passa-banda são utilizados nas secções de FI dos receptores para melhorar a receptividade; são construídos normalmente sob a forma modular, utilizando cristais de quartzo, elementos mecânicos ou cerâmicos. Os filtros menos críticos, como os tipos passa-baixas e altas, são feitos, em geral, a partir de capacitores e bobinas discretas.

GANHO DE ANTENA:

O aumento aparente na potência que a antena produz, medido em dB. Não existem restrições legais quanto ao ganho da antena, mas existem algumas limitações práticas; as mais importantes são as dimensões físicas, pois as antenas de alto ganho tendem a ser exageradamente grandes.

HARMÔNICAS:

Sinais indesejáveis que parecem em múltiplos (2, 3, etc) da frequência fundamental desejada. São produzidas por amplificadores não lineares e podem ocasionar interferências em aparelhos* de TV e outros aparelhos. A segunda harmônica é a de maior intensidade, seguida pela terceira, depois a quarta, e assim por diante.

IMPEDÂNCIA:

Oposição oferecida por um elemento de circuito, por uma linha de transmissão ou uma antena, a um sinal CA ou de RF. Apesar de ser medida em ohms, como a resistência, é uma composição de efeitos resistivos e reativos.

INDICADOR DE MODULAÇÃO:

Um indicador relativo (em geral, uma pequena lâmpada) que brilha cada vez mais à medida que o índice de modulação se aproxima dos 100%. Ela dá ao operador uma idéia do nível de modulação da portadora.

MEDIDOR "S"

Instrumento que fornece valores relativos da potência dos sinais recebidos. Pode ser calibrada em unidades "S" e em dB ; cada unidade "S" é igual a 6dB. Acima de S 9, muitos desses instrumentos são calibrados em incrementos de 10 dB.

Os medidores "S" tem a intensão de ser relativos e não absolutos ; são úteis na comparação de potência de duas estações ou do desempenho de duas antenas, na mesma localidade

ANTENA OMNIDIRECIONAL:

Uma antena que emite igualmente bem em todas as direções .

ROE - RAZÃO DE ONDA ESTACIONÁRIA:

Quando as impedâncias de um sistema de comunicação não são iguais, criam-se reflexões, que enviam potência de volta ao transceptor, a partir da antena; como resultado, surgem ondas estacionárias de tensão e corrente na linha de transmissão.

A relação de onda estacionária pode ser determinada matematicamente pela fórmula $ROE = Z1/Z2$, com a maior impedância em primeiro lugar. Deste modo, se uma linha de transmissão de 50ohms' alimenta uma antena de 50 ohms. A razão é de 1:1 ou "um para um". Sob tais condições, toda a potência entregada pelo transceptor alcança a antena (desprezando as perdas na linha). Caso a impedância da antena é de 25 ou 100 ohms a razão será 2:1; este valor é considerado o limite máximo que a razão de onda estacionária deve exibir, em um bom sistema de comunicação. Essa razão é geralmente medida por um refletômetro ou uma ponte ROE.

SELETIVIDADE:

Basicamente, isto está relacionado à capacidade do receptor diferenciar entre o sinal ao qual está sintonizado e o si -

nal adjacente. Pode ser especificado também como "rejeição de canal adjacente". Este valor (uma relação impressa em dB) mostra a intensidade a mais que um sinal de um canal adjacente (10 KHz a - 10 KHz) precisaria ter de modo a interferir com a recepção inteligível do sinal desejado.

Algumas vezes, a seletividade é especificada como a banda de passagem em FI, ou seja, a "janela" pela qual o receptor pode olhar, para detectar sinais de uma certa potência. Diz-se assim: "X a Y dB abaixo", o que significa que, o X KHz de sua frequência de operação, o sinal terá sua potência reduzida em Y dB. Em transceptores AM, a banda de passagem típica é de aproximadamente 3 KHz a 6 dB abaixo e 30 KHz a 60 dB.

SENSIBILIDADE:

Descreve qual é a mínima potência de sinal com o qual o receptor pode trabalhar e fornecer uma saída razoável no alto falante. A intensidade do sinal é medida em microvolts e a segunda parte desse valor é chamada relação sinal/ruído (veja S/R), especificada em dB. Um determinado transceptor, com uma sensibilidade AM de 1 μ V para uma relação S + S/R de 10 dB, produzirá uma saída 10 vezes mais "forte" que o ruído de fundo.

S/R:

Abreviação de sinal/ruído. Especificada em dB, nos diz quanto um sinal é mais intenso que o ruído de fundo.

Geralmente, é medida no alto-falante. Frequentemente, utiliza-se a relação S+S/R, que é mais fácil de ser medida; essa relação exprime a razão entre o sinal e o ruído de fundo e fornece uma sensibilidade aparente mais elevada do que a simples relação S/R.

SUPER-HETERÓDINO:

Modelo comum de receptor, onde o sinal de entrada é transformado em sua frequência, por meio de conversores de frequência ou misturadores. O sinal é transformado em uma frequência intermediária ou FI. Tais estágios são adicionados para providenciar seletividade e uma boa rejeição de sinais espúrios.