

COMUNICAÇÕES VIA RÁDIO, UTILIZANDO SATÉLITES ARTIFICIAIS REPETIDORES

Por LOUIS POLLACK

Publicado na Revista "Electrical Communication",
Vol. 36, n. 3, 1960.

(Tradução do Capitão ALBERTO CARROZZO)

O grande interesse em torno de satélites artificiais e sua aplicação às comunicações a longa distância, e mesmo de alcance mundial, a ninguém deve surpreender.

Estes satélites permitem utilizar, para importantes serviços, frequências até agora disponíveis e que, de outra forma, não poderiam ser empregadas.

Inicialmente, consideraremos a necessidade e a exequibilidade de sistemas de comunicações que utilizem satélites artificiais. A seguir, analisaremos os rádio-parâmetros, como frequências de operação, modulação e tipo de resposta do satélite. Veremos, como conclusão, que um satélite em uma órbita circular de 24 horas, levando um "transpositor" (recebe e transmite) de 2 watts, poderá repetir 96 canais de voz, utilizando modulação em código de pulsos, em uma portadora de 2.000 Mc/s.

No solo, transmissores de um quilowatt e receptores com um fator de ruído de 1 decibel seriam utilizados com antenas parabóides de 18 metros.

1 — SATÉLITES, POR QUÊ?

Alguns céticos poderiam duvidar das possibilidades e mesmo da necessidade de rádio-repetidores em satélites. Consideremos inicialmente sua necessidade.

Nos Estados Unidos, partes do Canadá e na Europa Ocidental, um complexo entremeado de linhas terrestres e ligações de micro-ondas foi estabelecido.

De acordo com dados fornecidos pelo Departamento de Comércio dos Estados Unidos, em fins de 1959 existiam, em funcionamento, cerca de 70 milhões de telefones naquele país. Qualquer um daqueles aparelhos pode ser ligado a mais de 65 milhões de telefones distribuídos no restante do globo. Entretanto, os cabos transoceânicos, para interligar esse enorme número de assinantes, são limitados a cerca de 200 canais.

Uma ou duas décadas antes de 1956, as comunicações telefônicas transoceânicas eram realizadas predominantemente através de circuitos de alta frequência. A média de crescimento no número de circuitos e no tráfego, de 1945 a 1956, atingiu cerca de 8% ao ano.

Experiências com sistemas de cabos, de alta qualidade e confiança, justificaram a expectativa de que o tráfego transoceânico aumentaria no mínimo de 10% ao ano, se um melhor serviço fôsse colocado à disposição do público. Um relatório (Hearing Before the Committee on Science and Astronautics, House of Representatives, Report 9, pg. 98 and 99) dos assistentes ao "Congressional Committee on Science and Astronautics" estabeleceu que a atual capacidade dos cabos transatlânticos será excedida pela demanda em 1962, e insuficiente à planejada, por volta de 1965.

Certamente, pois, qualquer sistema novo, que permita uma rápida expansão das comunicações internacionais, em regime comercial e de alta qualidade, merece cuidadosa consideração. Um sistema rádio-relé (repetidor), utilizando satélites artificiais, oferece tais possibilidades.

2 — PROBLEMAS DE COMUNICAÇÕES

Quais são os problemas de comunicações, ao estabelecer-se um repetidor utilizável num satélite artificial?

2.1 — Frequência de operação:

A seleção de uma frequência ótima de transmissão para o sistema de satélites, seja ele passivo ou ativo (NT: O Autor denomina satélite passivo a um simples satélite refletor; ativo é o que pode receber os sinais e retransmiti-los amplificados), é limitada à "janela" de propagação entre 100 Mc/s e 10 gigaciclos por segundo (1 gigaciclo = 1 quilomegaciclo = 10^9 c). O ruído atmosférico e o causado por aparelhos elétricos, etc., decrescem com o aumento da frequência, e são desprezíveis acima de 100 Mc/s.

O ruído cósmico diminui desde um nível de -160 dbw/kc (decibel referido a 1 watt por 1 kc/s de largura de faixa) a 100 Mc/s, a menos de -180 dbw/kc a 1.000 Mc/s. Outros efeitos, como rotação de Faraday do plano de polarização, e efeitos de explosões nucleares, tornam-se progressivamente menores com o crescimento da frequência, e são desprezíveis acima de 2 gigaciclos por segundo.

No extremo superior da faixa considerada, a absorção pelo oxigênio e vapor d'água aumenta com a frequência: de 0,01 db/km a 10 gigaciclos, a mais de 0,1 db/km a 20 gigaciclos.

No caso do satélite passivo, a perda na propagação é dada por:

$$L = \frac{P_t}{P_r} = 16 \frac{\lambda^2 d_1^4}{A^2 \eta^2 D^2}$$

onde:

- A = área da antena
- D = diâmetro do satélite
- d_1 = média geométrica da distância entre o satélite e o terminal
- L = perda na propagação
- P_r = potência recebida
- P_t = potência transmitida
- λ = comprimento de onda
- η = eficiência da antena.

Observe-se que a potência transmitida é proporcional à quarta potência da distância, e que a perda na transmissão diminui com o aumento da frequência, para uma dada dimensão da antena da estação terrestre e do satélite.

Considerando-se agora o satélite ativo, o ganho da antena do satélite será limitado pela área da Terra a ser coberta, e pela tolerância de erro do sistema de estabilização da altitude. A largura do feixe de radiação da antena do satélite será fixada, levando-se em conta uma determinada órbita.

Para este caso de largura de feixe de radiação constante para o satélite, e uma dimensão predeterminada para a antena do solo, a perda na propagação fica independente da frequência, e é dada por

$$L = \frac{P_t}{P_r} = K \frac{\Theta d^2}{\eta A}$$

onde:

- A = área da antena no solo
- d^2 = distância terra-satélite
- K = uma constante
- Θ = largura do feixe da antena do satélite.

A quantidade de informação que pode ser transmitida por um sistema de comunicações é proporcional à largura da faixa ocupada no espectro de frequências. Aconselha-se, nos projetos de equipamentos, uma largura de faixa entre 0,5 e 2% da frequência portadora.

Para um sistema de comunicações que utilize um tipo de modulação que possibilite um grande melhoramento, a largura de faixa poderá variar de 10 a 40 Mc/s.

As exigências do projeto de equipamento ficam satisfeitas com uma frequência de 2 a 4 gigaciclos.

Outro fator a ser considerado, é que as dimensões e o peso dos componentes, particularmente amplificadores de radiofrequência e a antena diminuem com o aumento da frequência.

A escolha da frequência de operação restringe-se, pois, a determinar a mais alta frequência utilizável entre 1 e 10 gigaciclos/s, em função da disponibilidade de equipamento.

2.2 — Sistemas de modulação:

O tipo ótimo de modulação é definido como aquele que permite a maior eficiência de potência para uma dada relação sinal-ruído. Já que a potência do satélite é limitada, preferir-se-á o tipo de modulação que possibilite a relação desejada de sinal-ruído do canal (por exemplo, 40 db), com a mínima potência transmitida.

Portanto, é desejável um tipo de modulação que permita uma melhoria substancial da relação sinal-ruído do canal sobre a relação sinal-ruído às custas da largura da faixa.

Uma vez que a demodulação não precisa ser realizada no satélite, o tipo de modulação pode ser alterado à vontade, na estação terrestre, se o "translator" ou refletor possuir uma faixa de passagem suficientemente larga.

Três tipos principais de modulação foram considerados:

A) Multiplex com divisão de frequência, com subportadoras moduladas em amplitude e que modulam, em faixa lateral singela, a portadora de radiofrequência (FDM-SSE).

B) Multiplex com divisão de frequência com subportadoras moduladas em amplitude, que modulem em frequência a portadora de radiofrequência (FDM-FM).

C) Modulação em código de pulsos (multiplex com divisão de tempo), com os pulsos modulando em frequência a portadora. Várias portadoras podem ser multiplicadas em frequência, para se obter um elevado número de canais (PCM-FM-DM).

A relação sinal-ruído para cada sistema é dada pelas equações apresentadas a seguir:

A) Divisão de frequência, faixa lateral singela:

$$S/R = \frac{C}{R} = 10 \log \frac{1}{KT} - 10 \log b - L + 10 \log P_t$$

onde:

b = largura da faixa do sinal

C/R = relação portadora/ruído

K = constante de Boltzman's = $1,38 \times 10^{-23}$

T = temperatura efetiva do receptor.

B) Divisão de frequência, modulação em frequência:

$$S/R = \frac{C}{R} + 20 \log \frac{\Delta f}{f} + 10 \log \frac{B}{2b}$$

onde:

$$C/R \text{ é igual ou maior que } 12 \text{ db, e } \frac{C}{R} = 10 \log \frac{1}{KT} - 10 \log B - L + 10 \log P_t$$

onde:

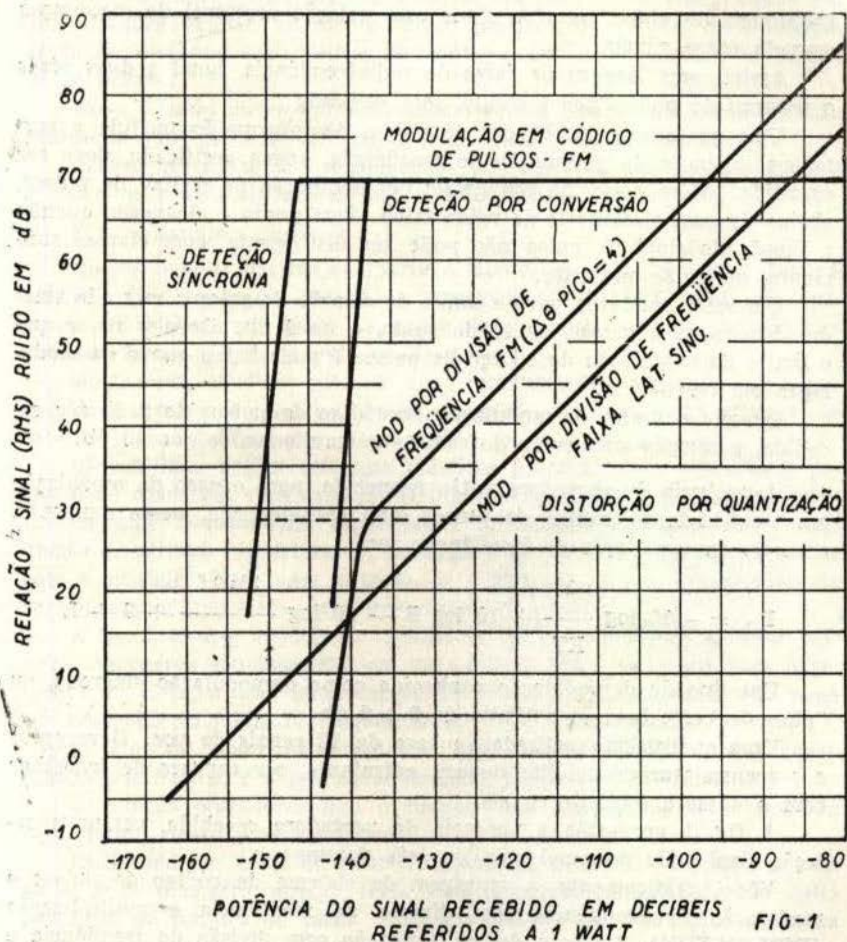
B = largura de faixa do canal de frequência intermediária

f = mais alta frequência de modulação

Δf = desvio máximo.

A relação do valor r.m.s. da portadora, para o valor r.m.s. do ruído, de 12 decibéis, é o limite aceito para um sistema de modulação em frequência.

Abaixo deste valor, nenhuma melhoria quanto ao ruído é conseguida.



Níveis de potência necessária na entrada do receptor, para um sistema proporcionando 12 canais de voz (cada um com 3 quilociclos de faixa), considerando um fator de ruído para o receptor de 1 decibel, e uma temperatura de antena de 40 graus K.

C) Código de pulsos e modulação de frequência:

Para este método de código de pulsos, a largura de faixa do sistema deve ser previamente determinada.

Utilizando-se um código de seis elementos e testando-o ao dobro da mais alta frequência de áudio, o número de elementos por segundo, para cada canal, será de $6 \times 8.000 = 48.000$, e a frequência de vídeo será de $48.000/2$ ou 24.000 c/s. Para transmitir essa informação de vídeo em um sistema de vários canais, com a mínima potência, é utilizada uma resposta de forma gaussiana. Pode ser demonstrado que a largura de faixa de 3 db do sistema total necessita ser igual apenas ao dobro da frequência de vídeo, para se obter uma relação aceitável de modulação cruzada entre canais.

Assim, uma largura de faixa de radiofrequência, igual a duas vezes o número de pulsos por segundo, será utilizada.

Uma vez que a frequência de pulsos de informação modula a portadora, o limite de modulação de frequência, acima verificado, deve ser excedido. Além disso, há um limite de modulação de código de pulsos, abaixo do qual a melhoria de ruído falha. Este ponto é alcançado quando a tensão do sinal de pulso não pode ser distinguida, com clareza suficiente, do ruído presente.

Um valor aceitável, para o limite da relação do valor r.m.s. do sinal de vídeo para o valor r.m.s. do ruído, é de 9 db. Deve-se notar que o limite da modulação de código de pulsos é mais baixo que o da modulação em frequência.

Quando o limite da modulação de código de pulsos de 9 db for excedido, a relação sinal-ruído do canal será muito maior que 40 db.

A potência da portadora então requerida, para o caso da modulação em frequência do código de pulsos, não considerando, neste momento, o limite da modulação de frequência, será:

$$P_{th} = -10 \log \frac{1}{KT} + 10 \log B - 20 \log \frac{3\frac{1}{2}\Delta f}{f} + 9 + L$$

Um tipo de demodulação conhecida como demodulação síncrona, ou "phase-locked", baixará o limite de 3 a 6 db.

Uma análise foi realizada na base de 12 canais de voz. O receptor e o transmissor do satélite devem, entretanto, ser capazes de trabalhar com o número total de canais.

A fig. 1 apresenta a potência da portadora recebida, versus a relação sinal-ruído do canal, para os três sistemas.

Vê-se, gráficamente, a vantagem do sistema de código de pulsos e modulação de frequência com divisão de frequência e multiplicação (PCM-FM-FDM). No caso da multiplicação com divisão de frequência e faixa lateral singela, uma relação sinal-ruído de 40 db é obtida com uma portadora de cerca de -118 decibéis, referidos a 1 watt. O sistema de divisão de frequência — modulação de frequência com um índice de pico de modulação Θ de 4, requer 9 decibéis menos de potência.

Observe-se a introdução de um nível mínimo, abaixo do qual a relação sinal-ruído piora rapidamente.

O sistema de código de pulsos oferece considerável redução de potência. O nível de entrada requerido aqui é de -148 decibéis, referido a 1 watt, ou a uma melhoria de 30 decibéis sobre o sistema de faixa lateral singela.

Utilizando-se demodulação síncrona, o nível mínimo da portadora modulada em frequência é realmente menor que o nível necessário para a portadora de faixa lateral singela, para uma relação S/R de 40 db.

3 — CLASSIFICAÇÃO DOS SATÉLITES

Os repetidores-rádio mantidos em órbita podem ser classificados em dois grandes grupos, conforme sejam passivos ou ativos; estes podem ainda ser divididos em satélites de órbitas próximas e satélites de órbitas de 24 horas.

Estes últimos giram em sincronismo com a rotação da Terra, quando colocados num plano equatorial, a uma altitude de 35.880 km.

Órbitas próximas são consideradas aquelas com um período de 1 a 3 horas, ou a uma altitude de 800 a 4.800 km.

3.1 — *Satélites passivos:*

No documento clássico de Pierce e Kompfner (Comunicações Transoceânicas por meio de Satélites, "Proceeding" do IRE, Vol. 47, páginas 372-380, março, 1959) os parâmetros de um sistema de satélites passivos foram completamente analisados.

Mostraram aqueles autores que comunicações transatlânticas poderiam ser estabelecidas, com mais eficiência, por um certo número de satélites numa órbita polar, a uma altitude de 4.800 km.

Os satélites, balões esféricos plásticos aluminizados, assumiriam posições ao acaso em suas órbitas. O número de satélites necessários para manter uma continuidade especificada de serviço, decresce com o aumento de altitude da órbita. A potência necessária à transmissão cresce com a altitude. Para uma altitude de 4.800 km, e uma interrupção de serviço menor que 0,1%, são necessários 30 satélites.

A fig. 2 mostra a potência necessária, quando se utiliza refletor passivo. As curvas são baseadas em uma temperatura de ruído para o receptor de 75°K , e uma temperatura de 20°K para a antena, o que pode ser realizado na faixa de frequência de 1 a 10 gigaciclos/s.

O fator de ruído do receptor é algo mais pessimista que o considerado por Pierce, e é realizável no estado presente da Ciência.

A relação portadora-ruído é baseada em técnica de modulação de faixa larga, como se vê na figura.

Utilizando um balão de 30 m de diâmetro, 2.000 Mc/s e uma antena de 37 m de diâmetro no solo, seria necessária uma potência de 130 watts por Kc/s de largura de faixa. Com um sistema de modulação de faixa larga, como modulação de código de pulsos, uma informação com uma largura de faixa de 4 Mc/s pode ser transmitida com uma largura de faixa de radiofrequência de 24 Mc/s, permitindo uma relação sinal-ruído melhor que 40 db.

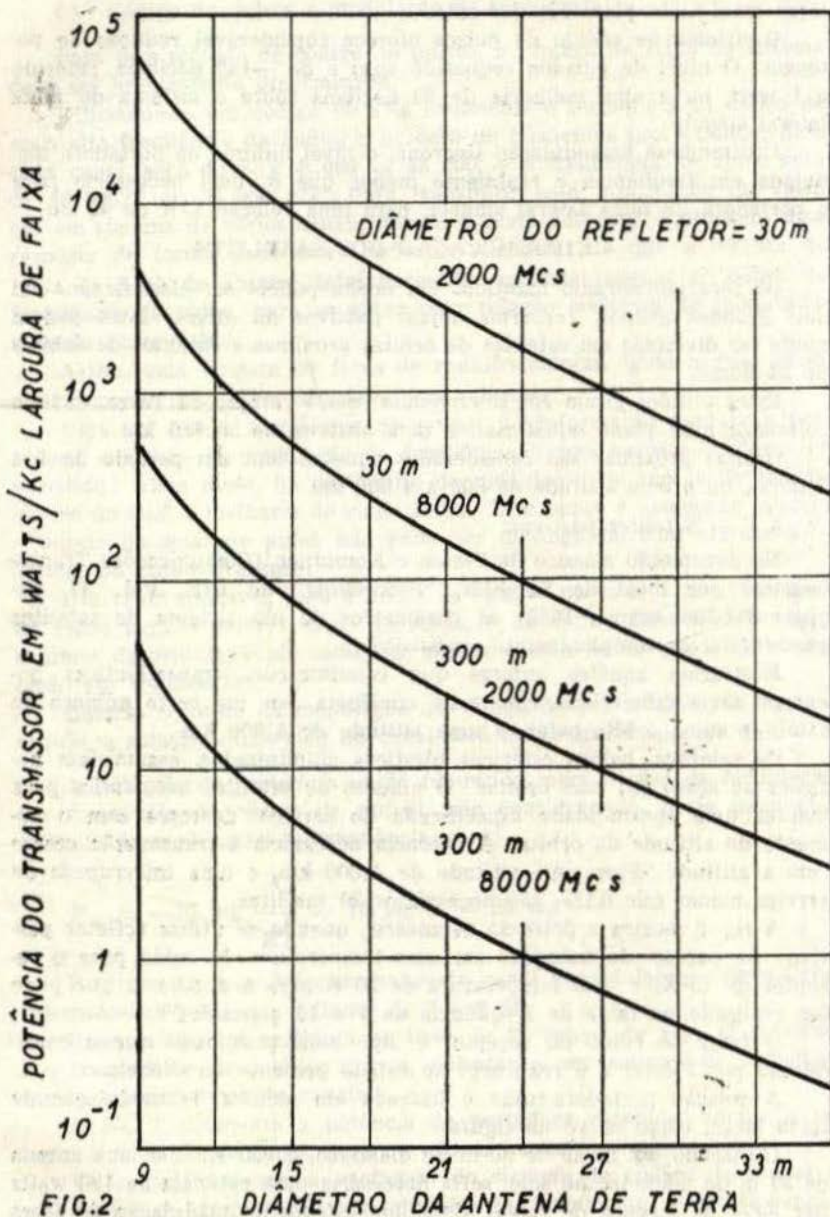


FIG. 2

DIÂMETRO DA ANTENA DE TERRA

Potência de transmissão necessária, por quilociclo de faixa passante, para um sistema que utilize refletor passivo numa órbita de 4.800 quilômetros, considerando uma perda no espaço livre de 2×177 db, receptor KTB de 208,8 db referidos a 1 watt por quilociclo por segundo, e uma relação canal-ruído de 15 db. Cada curva traz indicado o diâmetro do satélite e a frequência de transmissão para as quais foi traçada.

Tal sistema requereria um aumento de 34 db na potência transmitida do solo, ou, aproximadamente, 3 megawatts — um nível impraticável, até o momento. Elevada a frequência de operação 4 vezes, para 8.000 Mc/s, diminuirá de 16 vezes a potência de transmissão, se a eficiência da antena puder ser mantida, e a absorção atmosférica desprezada.

Os sistemas passivos caracterizam-se, pois, por um grande número de satélites, enormes antenas no solo e elevada potência de transmissão, para cobrir uma área relativamente pequena da Terra.

O sistema passivo pode ter importante papel nas comunicações transoceânicas, durante o desenvolvimento de sistemas eletrônicos dignos de confiança, e de foguetes de alta potência, que serão necessários para lançar satélites ativos.

Este ano, a Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (U.S.A.) lançará um balão de 30 m, aluminizado (NT: Este satélite já foi lançado, com pleno sucesso). Este balão, inflado pelo gás resultante da sublimação de um sólido nele contido, será construído de "Mylar", de 0,013 mm de espessura.

A esfera entrará em órbita num plano de 50°, a uma atitude de 1.300 a 1.600 km. Será estabelecido um canal de voz apenas, entre o laboratório da "Bell Telephone", em Holmdel, Nova Jersey, e os Laboratórios Jet Propulsion em Goldstone, Califórnia. Os laboratórios do ITT forneceram o transmissor de frequência modulada à Bell Telephone para o terminal de Holmdel.

3.2 — *Satélites ativos:*

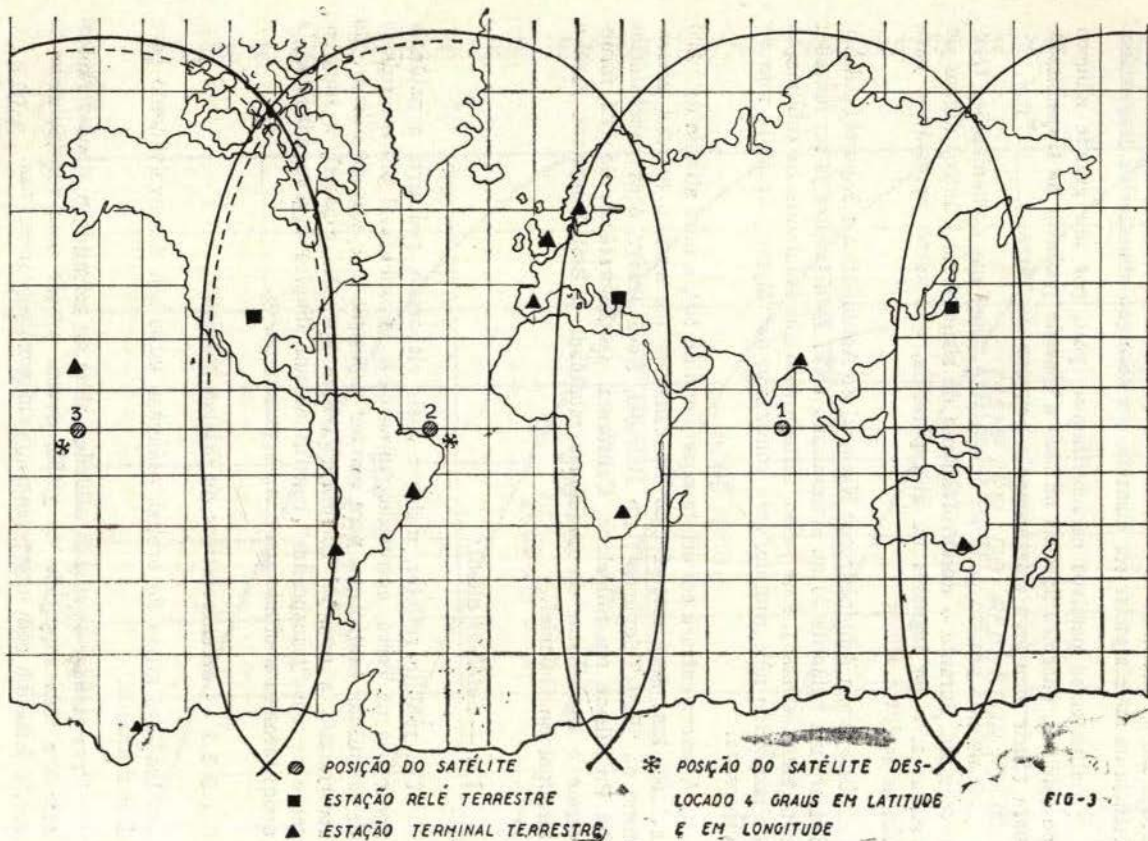
Um satélite refletor, maior e mais elaborado, reduziria a potência necessária na Terra; entretanto, tornar-se-ia indispensável um mecanismo de propulsão, controlado, para manter a posição e a altitude ótimas. Se recorrermos a uma tal complicação num aparelho espacial, a incorporação de um "transpositor" constituirá um simples degrau adicional, e assim teremos evoluído para um repetidor ativo.

3.2.1 — *Satélites ativos de órbitas próximas:*

Satélites ativos de órbitas próximas estão sob desenvolvimento para fins militares.

Para atender às suas finalidades, além de permitirem atender rapidamente a toda superfície do globo, devem prover uma continuidade de serviço, mesmo sob interferência e em condições precárias.

O "Advanced Researck Project Agency", através do "Signal Corps", está patrocinando um repetidor com retardo (NT: Isto é, com "memória") no projeto Courier (Committee ou Science and Astronautics, Report 9, pág. 15, 1959); o ITT fornecerá o sistema de terra para o projeto.



Áreas cobertas por 3 satélites em órbitas de 24 horas.

Sob o conceito Courier, um satélite, numa órbita de 960 a 1.120 quilômetros, será ativado na ocasião em que penetrar no alcance visual de uma estação de terra que tiver tráfego com uma outra (NT: Também este satélite foi lançado, com ótimos resultados. Sua descrição pormenorizada será objeto de um próximo artigo).

Sinais de teletipo, previamente gravados em fita magnética, serão transmitidos ao satélite com alta velocidade, e este armazenará a mensagem. Quando o satélite estiver "sob as vistas" do receptor de terra da outra estação, retransmitir-lhe-á a mensagem, a alta velocidade, quando para tal for comandado por um sinal de código. Durante a recepção das mensagens armazenadas pelo satélite, a estação de terra poderá também retransmitir-lhe tráfego para outras estações, em uma frequência diferente.

Transmitindo a uma alta velocidade, durante 4 a 5 minutos, nos quais o satélite esteja com certeza, sob as vistas da estação de terra, é possível transmitir o tráfego de 20 canais de teletipo, operando continuamente à velocidade de 100 palavras por minuto.

Para um tempo ativo de operação de 3 minutos, quando o satélite estiver dentro da faixa da estação de terra em cada órbita, a capacidade de manejar o tráfego será de 15×10^6 sinais — capacidade esta de cada gravador do satélite. Isto corresponde a 428×10^3 palavras por passagem do satélite pela estação. Para uma altitude de 965 km e um período de 110 minutos, haveria 7 órbitas úteis por dia, para uma estação na latitude de Porto Rico, ou 2.996.000 palavras manejadas por dia por essa estação de terra.

Satélites ativos de órbitas próximas podem ser utilizados num sistema sem retardo e, como no caso passivo, um grande número de satélites e antenas orientáveis devem ser empregados para uma cobertura contínua.

A altitude de um satélite de órbita próxima e de ação controlada limitará a largura do feixe de radiação da antena do satélite.

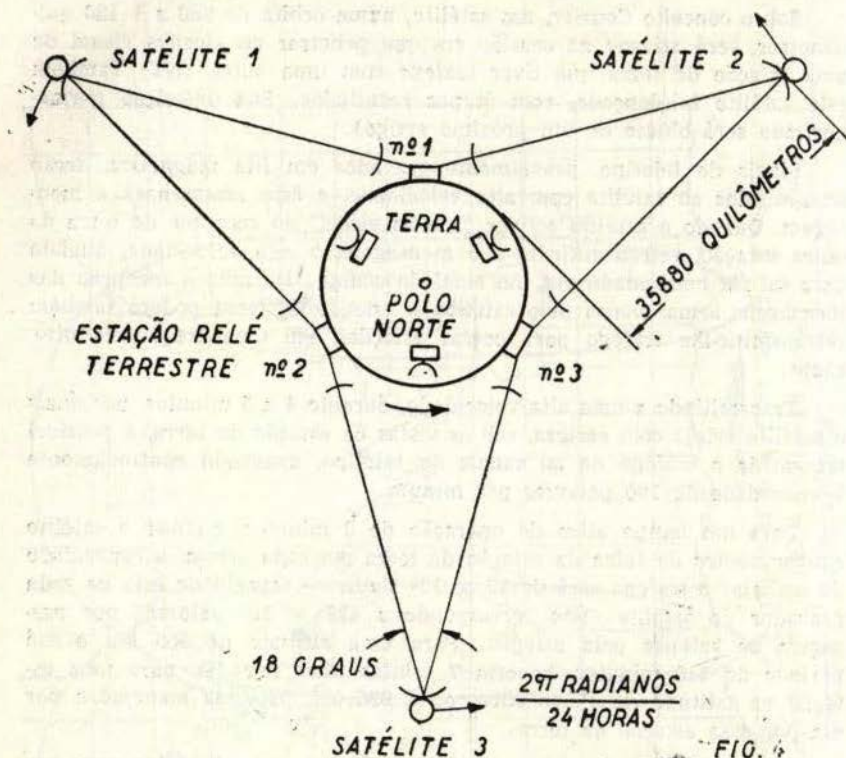
Perdas na transmissão, ganho da antena do satélite e cobertura sobre a Terra decrescem com a altitude. Assim, movendo-se o satélite de uma órbita de 4.800 km a uma órbita síncrona de 35.880 km, e utilizando-se um feixe de radiação tangente à superfície da Terra, somente mais 5 db de potência serão necessários.

3.2.2 — Satélites ativos de órbita de 24 horas:

Três satélites numa órbita equatorial a 35.880 km, podem cobrir cerca de 98% da superfície da Terra, como se vê na fig. 3.

Para um sistema mundial de comunicações, isto poderia parecer muito atrativo. As mais severas limitações são a potência de saída do transmissor do satélite e sua vida útil.

A uma altitude de órbita síncrona, o feixe de radiação da antena do satélite para a cobertura de um hemisfério é de 18 graus (fig. 4).



Geometria de um sistema de satélites em órbita síncrona. A velocidade orbital dos satélites e a velocidade de rotação da Terra são iguais a 2π radianos por 24 horas e na mesma direção. Assim, cada satélite mantém uma posição constante em relação à superfície da Terra.

Considerando-se uma margem de erro de posição de ± 4 graus, uma antena de 25 graus de feixe de radiação poderá ser utilizada, permitindo um ganho de 16 db a 2.000 Mc/s. Com refletores parabólicos de 18,3 m no solo, e um receptor de fator de ruído de 1 db, um transmissor de 2 watts, no satélite, poderá trabalhar com 96 canais de voz, como se vê na tabela 1.

Observe-se a grande diferença em potência pico de saída, através de vários sistemas de modulação previamente comparados.

A demanda da potência pico pode causar problemas para o transmissor do satélite ativo, particularmente se um "Klystron" ou uma válvula de onda progressiva fôr utilizada no estágio de saída.

A fig. 5 mostra uma configuração possível para o "transpositor" de comunicações do satélite.

A fig. 6 apresenta o arranjo para uma estação de terra.

TABELA I

POTÊNCIA NECESSÁRIA SEGUNDO DIVERSOS SISTEMAS DE MODULAÇÃO

	Múltiplos com Divisão de Frequência		Modulação de Código de Pulsos — Modulação em Frequência +
	F.L.S.	F.M. E	
Para 12 canais de 4 Kc/s			
— Potência recebida necessária para relação S/R unitária, em db, ref. a 1 watt	-157,2	—	—
— Potência recebida necessária para um mínimo, em db, referidos a 1 watt	—	-138,4	-146,2
— Perda líquida na transmissão, em db	+127	+127	+127
— Margem de desvanecimento, em db	+13	+13	+13
— Aumento na potência da portadora, em db, para elevar a relação S/R a 40 db	+40	+12,2 +	0
— Potência de saída do transmissor do satélite, em db, referidos a 1 watt	+22,8 (pico)	+13,8	-6,2
Para 96 canais de 4 Kc/s			
— Relação de potência entre 12 e 96 canais, em db	+3	+3	+9 §
— Potência de saída do satélite, em db, referidos a 1 watt	+25,8 (pico)	+16,8	+2,8
— Potência de saída média do satélite, em watts	54 H	48	2
— Potência de saída pico do satélite, em watts	380	48	16

£ $\Theta = 4$

+ Detector síncrono

+ Nível de portadora acima do mínimo

§ Utilizando 8 portadoras para multiplicação com divisão de frequência

H Vários canais de conversação produzem uma relação de potência pico para média de 8,5 db.

4 — CONCLUSÕES

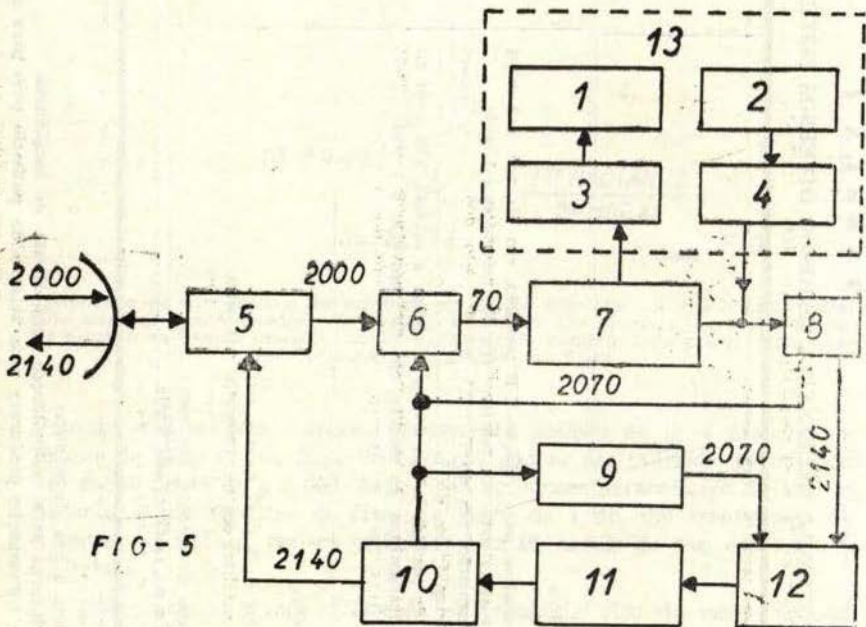
Apresentamos resumidamente os fatores que afetam o projeto de um sistema de comunicações que utiliza satélites repetidores, e examinamos uma possível configuração para um repetidor ativo.

Um sistema ativo que manejasse em torno de 1.000 canais de voz poderia ser lançado em dois anos.

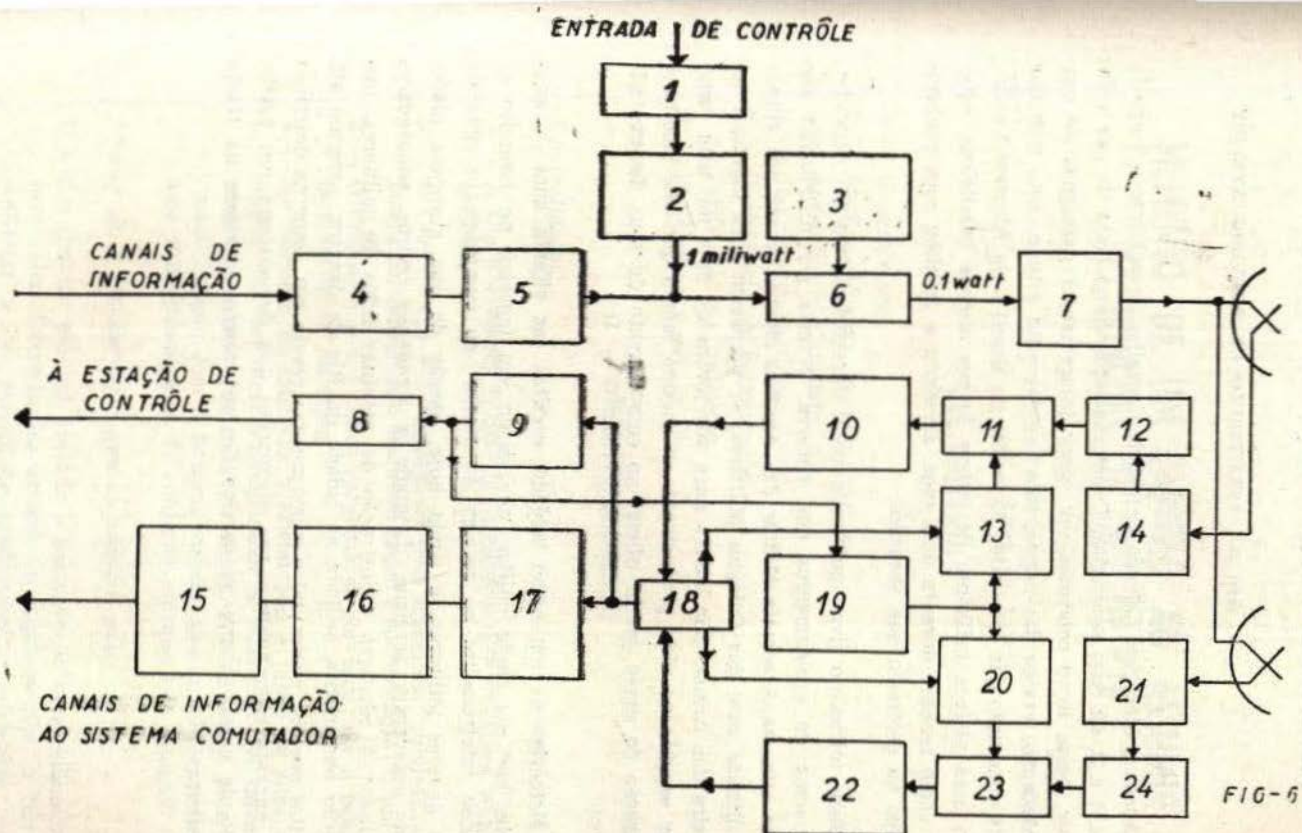
Estes satélites podem competir, econômica e tecnicamente, com outros sistemas também dignos de confiança, como cabos submarinos.

5 — AGRADECIMENTOS

O Autor agradece a Mr. William Sichak, Mr. Don Campbell e Mr. Paul Rodgers.



Equipamento de comunicações do satélite que utiliza uma válvula de onda progressiva. Em alguns pontos estão marcadas, em Mc/s, as frequências de operação. 1 — Controle de funções. 2 — "Sensors". 3 — Demodulador. 4 — Modulador. 5 — Diplexador. 6 — Misturador. 7 — Amplificador de frequência intermediária. 8 — Misturador. 9 — Cavidade de alto Q. 10 — Filtro seletor. 11 — Válvula de onda progressiva. 12 — Filtro seletor. 13 — Sistema de controle de estabilização.



Arranjo proposto para uma estação do solo. 1, Contrôre, multiplex. 2, Modulador, controle, 76 Me/s. 3, Oselador local 1 930 Me/s, 0,5 watt. 4, Modulador Multiplex de código de pulso. 5, Modulador de requência de voz, 70 Me/s. 6, Amplificador, misturador. 7, Amplificador de potência, gigacelos/s, 1 KW. 8, Demodulador. 9, Amplificador do sinal de controle, satélite à Terra. 10, Amplificador de requência intermediária, 70 Me/s. 11, Misturador. 12, Amplificador de baixo nível de ruído. 13, Oselador local, 2 070 Me/s. 14, Pré-seletor, 2.140 Me/s. 15, Demodulador de multiplex, código de pulso. 16, Demodulador síncrono. 17, Amplificador de subportadoras. 18, Combinador de fase. 19, Contrôre automático de requência, discriminador e amplificador. 20, Oselador local, 2 070 Me/s. 21, Pré-seletor, 2.140 Me/s. 22, Amplificador de requência intermediária, 70 Me/s. 23, Misturador. 24, Amplificador de baixo nível de ruído.