

CONCENTRADOR TELEFÔNICO COM INTERPOLAÇÃO
DIGITAL DE VOZ

TESE APRESENTADA À FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP - COMO
PARTE DOS REQUISITOS EXIGIDOS PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO
DE MESTRE EM CIÊNCIAS.

POR

PAULO YOSHIO HIGAKI

ORIENTADOR DA TESE: PROF. DR. SHUSABURO MOTOYAMA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
DEPARTAMENTO DE TELEMÁTICA

MAIO DE 1989

Paraver de Tese

Este exemplar corresponde à redação final da tese
defendida por Paulo Yoshio Higaki e aprovada pela
comissão julgadora em 18 de maio de 1989.

Shusaburo Motoyama

À SANDRA, PATRÍCIA, PRISCILA E ALEXANDRE

AGRADECIMENTOS

Desejo expressar os meus sinceros agradecimentos ao Prof. Dr. Shusaburo Motoyama, pelas suas orientações de inestimável valor, tanto na definição do conteúdo como na análise e adequação dos textos deste trabalho.

Os meus agradecimentos também aos Engs. Ari Alberto Ruschel da TELEPAR e Guilherme Nunes da PHT pela oportunidade e incentivo para a consecução deste estudo.

Os meus mais profundos agradecimentos para a Sandra, minha esposa, e para os meus filhos Patrícia, Priscila e Alexandre que, pacientemente, suportaram o prejuízo da redução da minha companhia, para a liberação das horas dedicadas aos cursos e a realização deste trabalho.

ÍNDICE

SUMÁRIO

CAPÍTULO	1.	INTRODUÇÃO	1 - 1
	1.1.	CONCENTRADOR TELEFÔNICO	1 - 1
	1.2.	TAXA DE UTILIZAÇÃO DO CANAL DE VOZ	1 - 3
	1.3.	OBJETIVO DA TESE	1 - 4
	1.4.	RESUMO DO TRABALHO	1 - 6
CAPÍTULO	2.	CARACTERÍSTICAS DO TRÁFEGO	
		TELEFÔNICO	2 - 1
	2.1.	INTRODUÇÃO	2 - 1
	2.2.	CONCENTRADOR DE LINHAS DE ASSINANTES	2 - 1
	2.3.	PRINCÍPIO DA DIGITALIZAÇÃO DA VOZ	2 - 4
	2.4.	TROPICO C - O CONCENTRADOR TELEFÔNICO	
		DO CPqD - TELEBRÁS	2 - 7
	2.5.	PADRONIZAÇÕES DO SISTEMA TDM	2 - 10
	2.6.	CARACTERÍSTICAS DE VOZ NOS CANAIS	
		TELEFÔNICOS	2 - 14
	2.7.	DETECTOR DE VOZ	2 - 17
	2.8.	CONCLUSÕES	2 - 17

CAPÍTULO	3.	INTÉRPOLAÇÃO DIGITAL DE VOZ	3 - 1
	3.1.	INTRODUÇÃO	3 - 1
	3.2.	ESQUEMA DE INTERPOLAÇÃO DIGITAL DE VOZ	3 - 2
	3.3.	FORMATOS DOS ENVELOPES	3 - 5
	3.4.	CONSIDERAÇÕES SOBRE TRANSMISSÃO POR ENVELOPE	3 - 5
	3.5.	CONCLUSÕES	3 - 8
CAPÍTULO	4.	PROPOSTA DE ORGANIZAÇÃO DO ENVELOPE	4 - 1
	4.1.	INTRODUÇÃO	4 - 1
	4.2.	ESTRUTURA DO ENVELOPE	4 - 2
	4.2.1.	CAMPO DO CABEÇALHO	4 - 3
	4.2.2.	CAMPO DA INFORMAÇÃO	4 - 4
	4.3.	EFICIÊNCIA DO ENVELOPE	4 - 4
	4.4.	ATRASOS NOS SINAIS DE VOZ	4 - 8
	4.5.	CONCLUSÕES	4 - 19

CAPÍTULO	5.	PROPOSTA DE CONCENTRADOR TELEFÔNICO COM INTERPOLAÇÃO DIGITAL DE VOZ	5 - 1
	5.1.	INTRODUÇÃO	5 - 1
	5.2.	ESTRUTURA DO CONCENTRADOR	5 - 1
	5.3.	DESCRIÇÃO DO SISTEMA	5 - 4
	5.3.1.	TERMINAIS DE ASSINANTES	5 - 4
	5.3.2.	CODEFIL	5 - 4
	5.3.3.	BUFFER DE SAÍDA	5 - 4
	5.3.4.	BUFFER DE ENTRADA	5 - 5
	5.3.5.	DETECTOR DE VOZ	5 - 5
	5.3.6.	UNIDADES DE TRANSMISSÃO E RECEPÇÃO	5 - 5
	5.3.7.	CONTROLADOR CENTRAL	5 - 5
	5.4.	CONTROLE DE CONGESTIONAMENTO INSTANTÂNEO (FREEZEOUT)	5 - 6
	5.5.	PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO	5 - 7
	5.5.1.	PROCESSO DE CONEXÃO EM UMA CHAMADA ORIGINADA NO CONCENTRADOR	5 - 7
	5.5.2.	FASE DE CONVERSAÇÃO	5 - 8
	5.5.3.	PROCESSO DE DESCONEXÃO DE UMA CHAMADA ORIGINADA NO CONCENTRADOR	5 - 8
	5.5.4.	PROCESSO DE CONEXÃO DE UMA CHAMADA TERMINADA NO CONCENTRADOR	5 - 10

	5.5.5.	DESCONEXÃO DE UMA CHAMADA TERMINADA NO CONCENTRADOR	5 - 10
	5.6.	CONCLUSÕES	5 - 11
CAPÍTULO	6.	AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE VOZ POR MODELOS MATEMÁTICOS	6 - 1
	6.1.	INTRODUÇÃO	6 - 1
	6.2.	PROBABILIDADE DE USUÁRIOS ATIVOS	6 - 3
	6.3.	ESQUEMA DE PERDA DE ENVELOPE SEM ARMAZENAMENTO	6 - 3
	6.3.1.	MODELO MATEMÁTICO	6 - 4
	6.3.2.	RESULTADOS	6 - 4
	6.4.	ESQUEMA DE ARMAZENAMENTO TEMPORÁRIO DO ENVELOPE	6 - 7
	6.4.1.	MODELO MATEMÁTICO	6 - 7
	6.4.2.	RESULTADOS	6 - 13
	6.5.	CONCLUSÕES	6 - 16

CAPÍTULO	7.	AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE VOZ POR SIMULAÇÕES	7 - 1
	7.1.	INTRODUÇÃO	7 - 1
	7.2.	ALGORÍTMOS DE SIMULAÇÃO	7 - 2
	7.3.	RESULTADOS	7 - 8
	7.4.	CONCLUSÕES	7 - 9
CAPÍTULO	8.	GANHO DE TERMINAIS NO CONCENTRADOR	8 - 1
	8.1.	INTRODUÇÃO	8 - 1
	8.2.	GANHO DE TERMINAIS	8 - 1
	8.2.1.	ESQUEMA DE PERDA DO ENVELOPE SEM ARMAZENAMENTO	8 - 2
	8.2.2.	ESQUEMA DE PERDA DO ENVELOPE COM ARMAZENAMENTO	8 - 3
	8.3.	CONCLUSÕES	8 - 3
CAPÍTULO	9.	CONCLUSÕES	9 - 1

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REF - 1

PUBLICAÇÃO DO AUTOR

PUBL - 1

SUMÁRIO.

Neste trabalho é proposto um esquema de multiplexação estatística para transmissão de sinais de voz, com aplicação em concentrador telefônico ou estágio remoto de uma central digital, tendo como resultado o aumento da eficiência dos meios de transmissão.

Os sinais de voz são digitalizados e transmitidos com a formatação do tipo pacote simplificado (envelope), que pode ocupar qualquer posição vazia do quadro de transmissão, através da técnica de interpolação digital (DSI).

É apresentado um esquema geral de um Concentrador Telefônico com multiplexação estatística e é feita a análise do seu desempenho em relação ao sistema convencional, nos aspectos de qualidade de voz (fração de freezeout), ganho na eficiência de transmissão e correspondente ganho de terminais do concentrador.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1. CONCENTRADOR TELEFÔNICO

A história é rica em exemplos de aceitação pública de um serviço além do planejado, decorrente da melhoria de qualidade do mesmo. Um caso desta alteração do comportamento ocorreu com a instalação, em 1.956, de 36 circuitos em um cabo submarino entre Nova York e Londres, que se supunha suficiente para atendimento do serviço telefônico durante 20 a 30 anos, levando inclusive a desativação do serviço de rádio comunicação existente entre as duas cidades. Em menos de dois meses o sistema estava congestionado devido ao aumento da utilização do serviço, como consequência da melhoria da qualidade de comunicação.

Considerando que o cabo submarino é oneroso e demorado para ser instalado, a solução adotada para atender o repentino crescimento da demanda de tráfego foi, além de reativar o serviço de rádio comunicação, desenvolver e instalar um sistema de otimização do uso dos circuitos disponíveis, através da técnica de aproveitamento dos momentos de silêncio existentes em uma comunicação telefônica, denominada interpolação

de voz com alocação no tempo (TASI - Time Assignment Speech Interpolation) que, no caso, permitiu que mais do que 36 chamadas simultâneas pudessem cursar no cabo submarino instalado.

Modernamente, embora surpresas desta natureza sejam menos frequentes, a tecnologia de comunicação telefônica tem-se desenvolvido cada vez mais no sentido de se obter um maior aproveitamento dos meios de transmissão, com o intuito de reduzir os custos de implantação e utilização da rede.

Para as centrais telefônicas analógicas, uma das estratégias adotadas para a redução de custos de cabos telefônicos é a utilização de concentradores de linhas de assinantes, desenvolvidos atualmente com a tecnologia digital, como é o caso do TROPICO C desenvolvido pelo Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da TELEBRÁS (CPqD/TELEBRÁS) [1].

As centrais telefônicas digitais (CPA-T) valem-se do recurso de estender o seu estágio de concentração para uma área próxima dos usuários, mantendo-se a estrutura de transmissão, isto é, a de alocação fixa de janelas temporais.

Em ambos os casos, os sinais analógicos são digitalizados pela técnica de modulação por codificação de pulsos (PCM) e multiplexados no tempo (TDM), sendo os sinais de cada fonte transmitidos nas janelas

temporais (Time Slots) previamente alocadas.

Desta forma, a quantidade de usuários simultaneamente ativos fica limitada ao número de janelas temporais do sistema de transmissão.

1.2. TAXA DE UTILIZAÇÃO DO CANAL DE VOZ.

Um canal telefônico (janela temporal) ocupado para uma conversação entre dois usuários apresenta uma baixa taxa de utilização, decorrentes principalmente dos seguintes aspectos:

- . Enquanto um fala, o outro ouve. Então, em média, cada usuário gasta tempos iguais para ouvir e falar. Considerando que os enlaces são distintos para transmissão e recepção, cada direção teria uma ocupação inferior a 50%.
- . Baixa atividade inicial enquanto se estabelece a ligação.
- . Períodos de silêncio, enquanto se aguarda uma outra pessoa para atender o telefone.
- . Períodos de silêncio de curta duração, entre palavras ou frases.

Definindo-se a ATIVIDADE MÉDIA como sendo a porcentagem do tempo em que a energia acima de um limiar muito baixo é transmitida, as medidas efetuadas em uma grande quantidade de canais telefônicos ([2],[3] e [4])

indicam uma atividade média de 35% a 40%, significando uma ociosidade de 60% a 65% em cada sentido.

Portanto, esta ociosidade pode ser aproveitada para transmissão de sinais de voz de outros usuários, através da técnica TASI/DSI (Time Assignment Speech Interpolation/Digital Speech Interpolation). Para isto, é necessário um eficiente detector de voz, com capacidade inclusive de discriminar a voz a níveis inferiores da de ruídos e ter persistência (Hangover) para que as pausas não sejam notadas pelos usuários. Um detector com estas características pode ser obtido pela análise da Potência Média, Função de Densidade de Probabilidade e Número Médio de cruzamentos de zeros [2].

A utilização compartilhada dinamicamente dos canais tem sido proposta por diversos autores ([5],[6],[7] e [8]) pela transmissão dos sinais em forma de pacote simplificado, em que cada um deles carrega a informação necessária para chegar ao destino, desvinculando a necessidade de alocação prévia dos canais (janelas temporais) de transmissão.

1.3. OBJETIVO DA TESE.

O objetivo deste trabalho é a proposição e análise de um esquema de multiplexação estatística de voz digitalizada (interpolação digital de voz), sendo os sinais transmitidos na forma de pacote simplificado

(envelope), tomando como exemplo de aplicação o concentrador telefônico.

O resultado obtido é o aumento da eficiência na utilização dos canais de transmissão, através da ocupação dos momentos de silêncio sempre existentes em uma comunicação telefônica, e que pode chegar a 75%.

O esquema de interpolação digital de voz proposto é sujeito a perdas parciais do início de surtos de voz (freezeout) em função do congestionamento, implicando em degradação na qualidade de voz.

A fração de freezeout, definida como sendo a relação entre o comprimento médio das perdas e o comprimento médio dos surtos de voz, é utilizada na avaliação da qualidade de voz, sob duas estratégias de administração da perda, a saber:

- o envelope não transmitido é perdido imediatamente;
- o envelope não transmitido espera a liberação de um canal por um período curto, sendo perdido se ocorrer a ultrapassagem deste tempo.

Estes dois esquemas, por sua vez, são analisados sob dois métodos seguintes:

- análise através de modelos matemáticos;

- análise através de simulações usando recursos computacionais.

Vale observar que o sistema MCP-60 [2], concebido para transmissão de até 60 comunicações telefônicas simultâneas em um enlace padrão PCM de 2,048 Mbit/s, utiliza também o esquema de interpolação digital de voz. A diferença deste sistema com o sistema proposto neste trabalho reside no tratamento da degradação de voz em caso de congestionamento, isto é, o sistema MCP-60 utiliza a estratégia de reduzir o número de bits por amostra nos instantes de saturação, evitando a ocorrência de freezeout, porém, permitindo a degradação uniforme em todas as comunicações presentes.

1.4. RESUMO DO TRABALHO.

No capítulo 2 são discutidas as características do tráfego telefônico, com enfoques na concentração de tráfego e nas características de voz nos canais telefônicos.

No capítulo 3 são apresentados os princípios da interpolação digital de voz e no capítulo 4 é proposta a organização do envelope, tomando como parâmetros a eficiência do envelope e o atraso do sinal de voz.

No capítulo 5 é proposto um esquema de concentrador telefônico com interpolação digital de voz, utilizado como modelo para a análise da

estratégia de multiplexação estatística de voz formatada como pacote simplificado (envelope).

A análise da qualidade de voz com esquema de interpolação digital é feita através de modelos matemáticos no capítulo 6 e a análise através de simulações por métodos computacionais é feita no capítulo 7.

O estudo do ganho no número de terminais do concentrador, decorrente do aumento da eficiência de utilização do meio de transmissão, com base na teoria de tráfego telefônico, é feito no capítulo 8.

Finalmente, no capítulo 9 são apresentadas as conclusões finais do presente trabalho e a aplicabilidade do esquema proposto em tecnologias novas que estão surgindo e outros que estão na fase inicial de pesquisa, tais como a telefonia móvel rádio celular e a comutação em faixa larga.

CAPÍTULO 2

CARACTERÍSTICAS DO TRÁFEGO TELEFÔNICO

2.1. INTRODUÇÃO.

Neste capítulo são apresentadas as estruturas dos concentradores telefônicos existentes, suas limitações e os formatos padrões dos sistemas de transmissão digital.

São também discutidas as características de voz nos canais telefônicos e os requisitos de um detector de voz eficiente.

2.2. CONCENTRADOR DE LINHAS DE ASSINANTES.

A teoria do tráfego telefônico é baseada no estudo estatístico de que os terminais são utilizados apenas em pequenas frações de tempo, ao longo de um certo intervalo. Desta forma, as centrais de comutação necessitam de meios internos de comunicação em quantidade muito menor que o número de terminais conectados na sua entrada.

Entretanto, a interligação entre o aparelho telefônico e a central de comutação é feita por par dedicado, já que, pelo menos nos enlaces

analógicos atualmente em uso, em que a faixa de passagem é limitada a frequência de voz (300 hz a 3400 hz), não há possibilidades de que um mesmo par de fios seja utilizado por diversos usuários, sem que haja problemas de identificação, tarifação e utilização simultânea.

A redução dos custos de cabos telefônicos sempre foi um dos tópicos importantes no desenvolvimento do sistema de comunicação, pois, mesmo nos dias atuais, chegam a representar de 35% a 50% dos custos de investimento das empresas de telecomunicações.

Uma das soluções adotadas para a redução de cabos telefônicos entre os aparelhos telefônicos e as centrais de comutação analógicas é a utilização de concentradores de linhas de assinantes, sendo que uma das configurações existentes atualmente com aplicação comercial é a apresentada na fig. 2.1.

Nesta configuração, o sinal analógico proveniente de um telefone é digitalizado e multiplexado com os sinais de outros telefones e transmitido em um par de fios e convertido novamente em analógico na entrada da central de comutação.

Para as centrais de comutação digital (CPA-T), a solução adotada é a de levar o estágio de concentração para a região mais próxima dos usuários, podendo ser visualizado conforme apresentado na fig. 2.2.

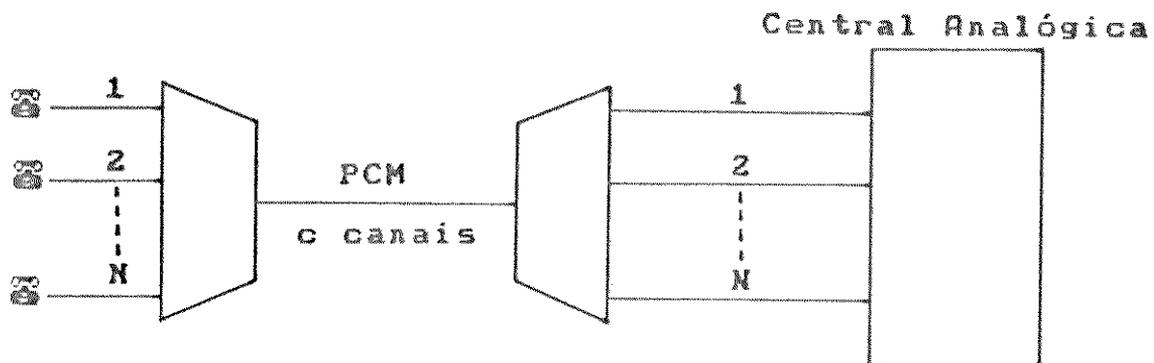


Figura 2.1 - Concentrador digital para centrais analógicas

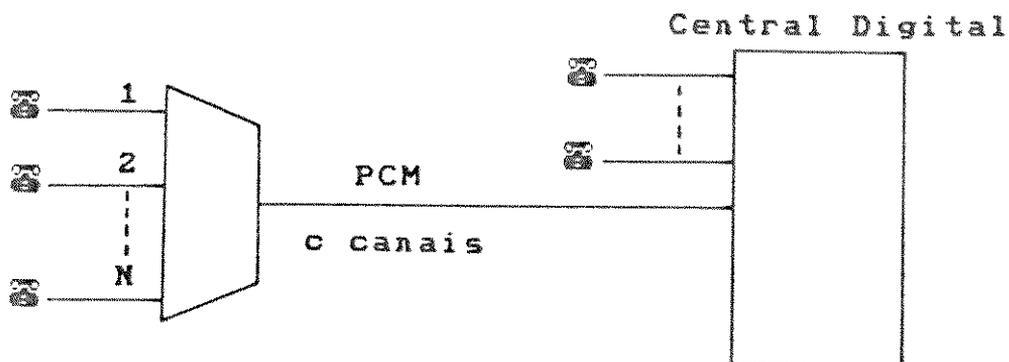


Figura 2.2 - Estágio de linha remoto para centrais digitais

Neste sistema, o enlace digital com vários canais é entroncado

diretamente no estágio digital da central CPA-T, promovendo a economia de cabos telefônicos e eliminando o estágio de expansão e conversão digital/analógica, existente no concentrador da figura 2.1.

2.3. PRINCÍPIO DA DIGITALIZAÇÃO DE VOZ.

Um sinal analógico, por exemplo, a voz de uma pessoa, pode ser amostrado, quantizado, codificado, multiplexado no tempo com outros sinais e ser transmitido digitalmente num meio de transmissão conveniente. No lado da recepção, um caminho inverso é traçado e o sinal original pode ser reconstituído com uma margem de erro muito pequena.

Uma das técnicas mais usadas para a digitalização de voz é a modulação por codificação por pulsos (PCM) que apresenta uma alta imunidade a ruídos, já que a completa informação sobre uma particular mensagem é sempre obtida pela simples detecção da presença ou ausência de pulsos.

De acordo com a teoria da amostragem, um sinal analógico na faixa de 300 hz a 3400 hz precisa ser amostrado a uma taxa mínima de 6800 hz (taxa de Nyquist) para que possa ser recuperado posteriormente.

Os equipamentos PCM comerciais em geral amostram a uma taxa de 8 khz e a quantificação é feita usualmente com 8 dígitos, gerando um trem de pulsos de sinais binários de 64 kbit/s, por fonte de sinal.

Se 32 fontes de sinais codificadas desta forma forem multiplexadas no tempo (TDM), um meio de transmissão de 2.048 kbit/s será necessário.

Uma configuração em diagrama de blocos que realiza estas funções é mostrada na figura 2.3 [9].

Este diagrama mostra simplificada a multiplexação por divisão no tempo de sinais de voz.

O sinal de voz (telefônico) passa pelo circuito de interface de linha de assinante (SLIC), é filtrado, amostrado e multiplexado, quantizado com compressão, codificado, serializado, sincronizado em quadros, codificado para interfaceamento com a linha (High Density Bipolar 3 - HDB-3 ou Alternate Mark Inversion - AMI) e transmitido.

É fácil ver então que o sistema PCM/TDM é um concentrador natural de canais telefônicos, pois através da multiplexação dos sinais analógicos de entrada possibilita conectar um número maior de telefones do que o número de canais (janelas temporais) de transmissão, distribuídos no tempo. O número de usuários simultaneamente ativos é limitado ao número de canais de transmissão, pois para cada usuário que inicia a conexão é atribuído um canal fixo e este permanece alocado a este usuário, até a desconexão.

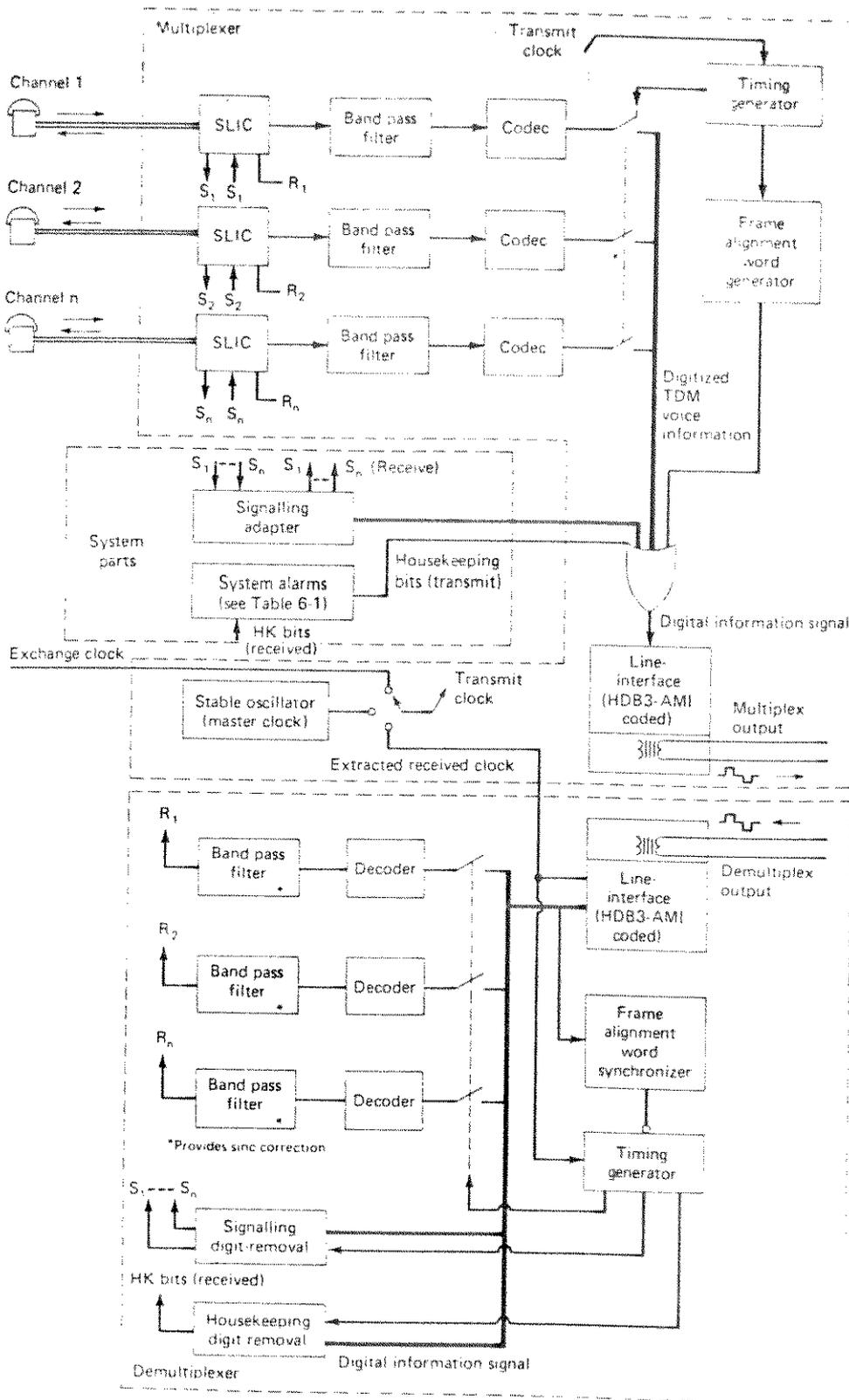


Figura 2.3 - Diagrama em bloco de um multiplex com divisão no tempo baseado em um codec monocal [9].

2.4. TROPICO C - O CONCENTRADOR TELEFÔNICO DO CPqD/TELEBRÁS.

Esta mesma técnica (PCM/TDM) é utilizada no concentrador TROPICO C desenvolvido pelo Centro de Pesquisa e Desenvolvimento (CPqD) da TELEBRÁS, em Campinas - SP., conforme pode ser observado nas figuras 2.4 e 2.5 [1].

Comparando as figuras 2.4 e 2.5 com a figura 2.3, observa-se que a técnica básica adotada no TROPICO-C é a mesma, diferenciando-se no aspecto construtivo, favorecido pela tecnologia de componentes, como é o caso do Codefil (Conversor A/D e filtro), em que a codificação/decodificação e filtragem são feitas individualmente para cada assinante, pela utilização de circuitos integrados monolíticos com tecnologia CMOS.

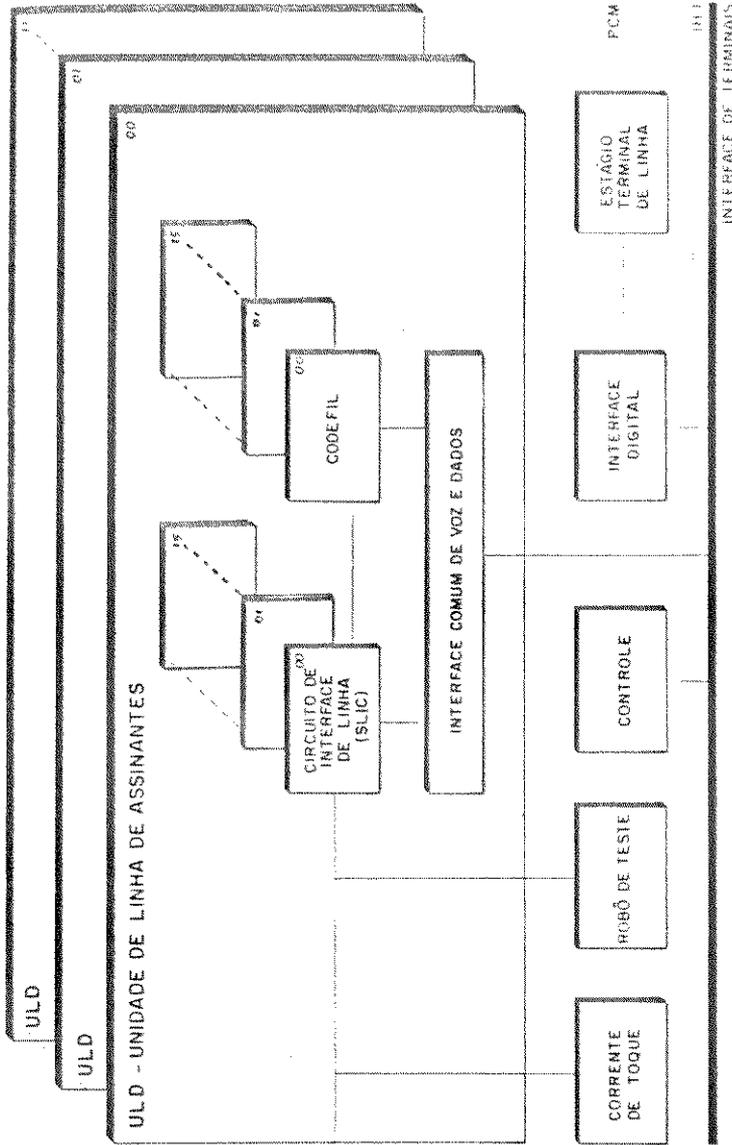


Figura 2.4 - Placa de assinantes (ULD) e sua ligação na interface padrão de terminais [1].

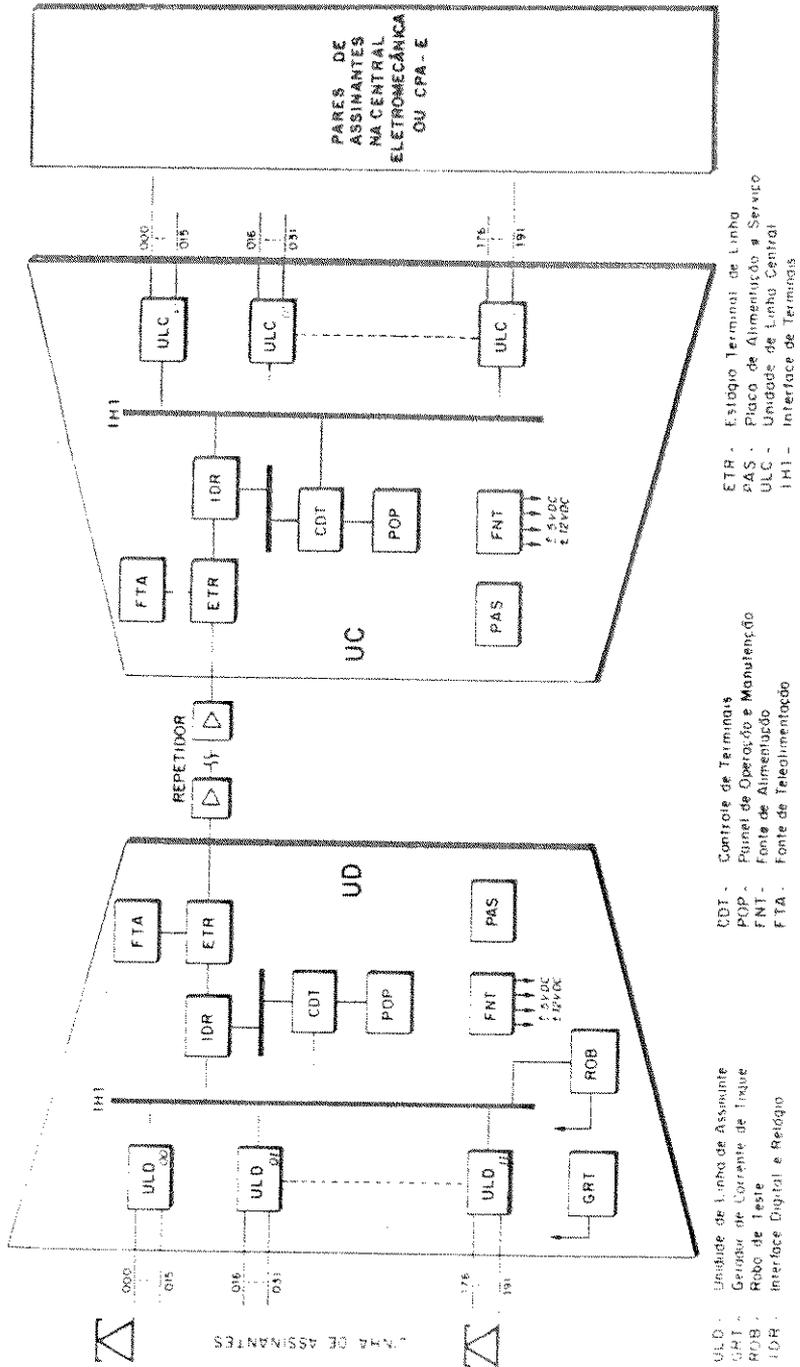


Figura 2.5 - Estrutura interna do TROPICO C [1].

2.5. PADRONIZAÇÕES DO SISTEMA TDM.

Do ponto de vista do formato para TDM síncrono, existem atualmente em uso comum os seguintes sistemas:

- Sistema Bell T1: 24 canais de voz (CCITT G733)
- Sistema Europeu Primário: 30 canais de voz (CCITT G732)

O sistema TDM Bell T1 é adotado nos Estados Unidos, Canadá e Japão e tem as seguintes características [9]:

- Amostragem de 8 khz
- Compressão segundo lei μ
- Codificação com palavras de 8 bits
- O quadro é formado por 24 canais, contendo 192 bits mais 1 bit de quadro, totalizando 193 bits
- Um multiquadro é composto de 12 quadros, conforme mostrado na figura 2.6 [9].

O sistema Europeu Primário é adotado na Europa, África e América do Sul e tem as seguintes características:

- Amostragem de 8 khz

- Compressão segundo lei A
- Codificação com palavras de 8 bits
- O quadro é formado por 32 canais, totalizando 256 bits
- Um multiquadro é formado por 16 quadros, conforme mostrado na figura 2.7 [9].

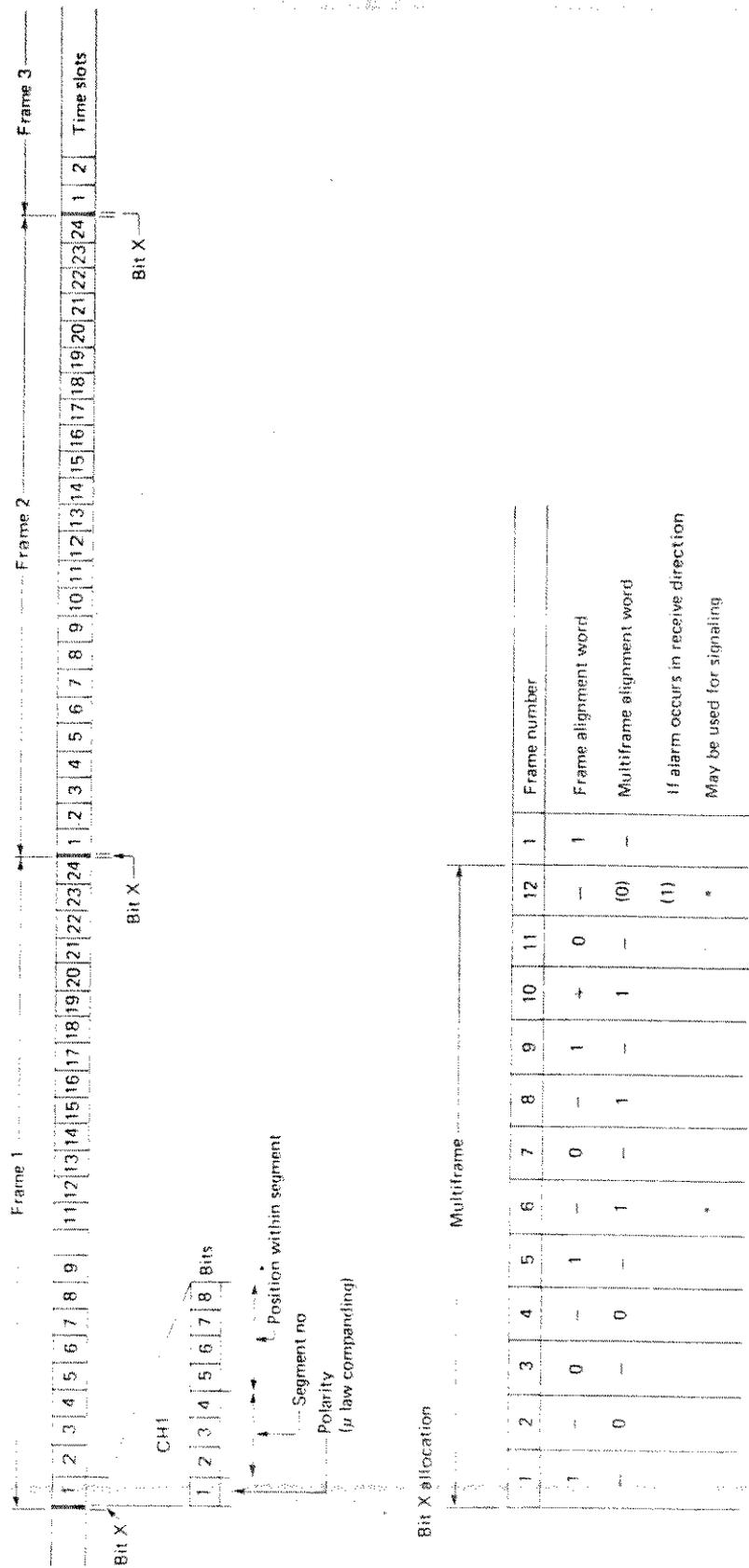
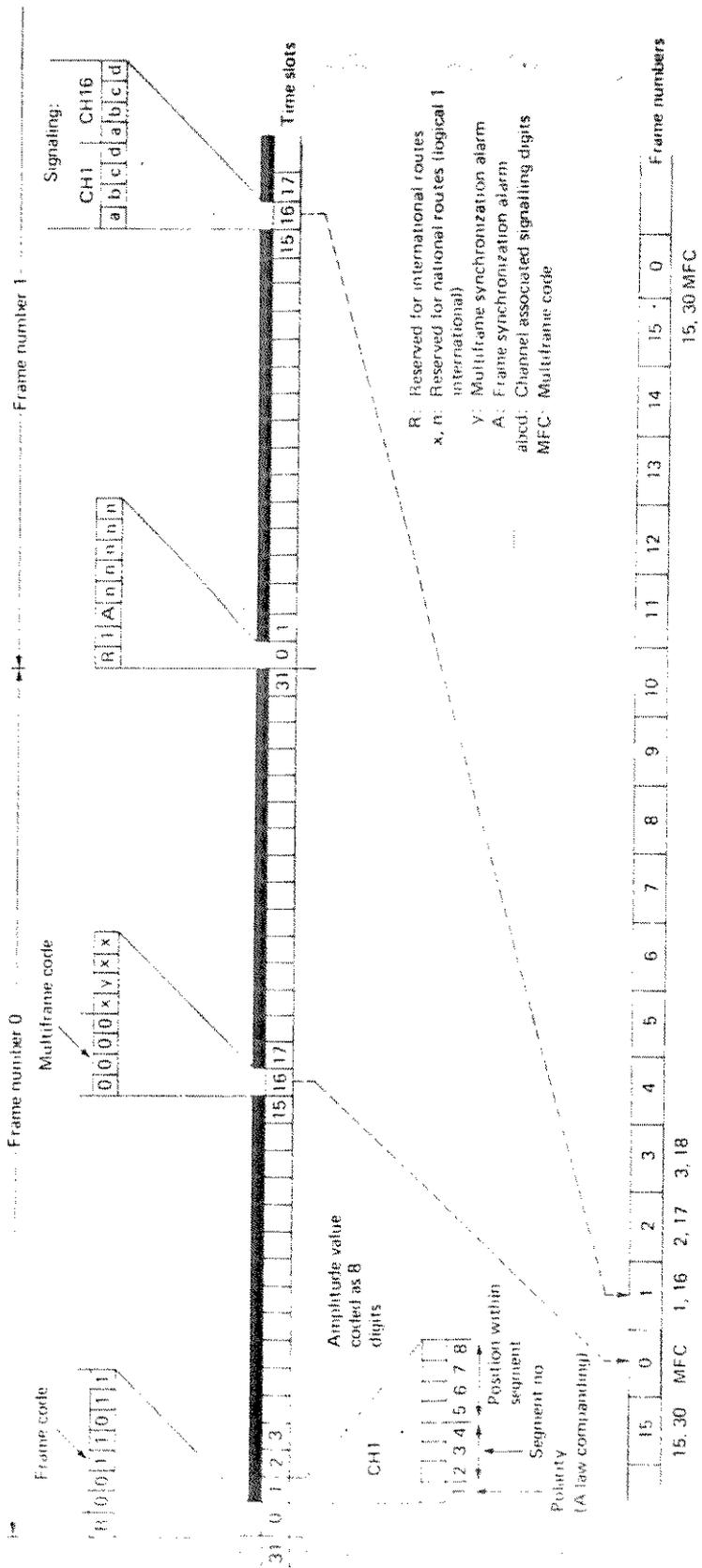


figura 2.6 - Formato do quadro do Bell T1, sistema de multiplex de 24 canais. (Este formato é usado nos Estados Unidos, Canadá e Japão) [9].



- R: Reserved for international routes (logical 1 international)
- x, n: Reserved for national routes (logical 1 international)
- Y: Multiframe synchronization alarm
- A: Frame synchronization alarm
- abcd: Channel associated signaling digits
- MFC: Multiframe code

Figura 2.7 - Formato do quadro do sistema multiplex europeu de 30 canais. (Este formato é usado na América Latina, Europa e África) [9].

2.6. CARACTERÍSTICAS DE VOZ NOS CANAIS TELEFÔNICOS

Um canal telefônico ocupado para uma conversação entre dois usuários apresenta uma baixa taxa de utilização, decorrentes principalmente dos seguintes aspectos:

- Enquanto um fala, o outro ouve. Então, cada usuário gasta tempos iguais para ouvir e falar. Considerando enlaces distintos para transmissão e recepção, cada direção teria uma ocupação inferior a 50%.
- Baixa atividade inicial enquanto se aguarda uma outra pessoa para atender o telefone.
- Períodos de silêncio de curta duração, entre palavras ou frases.

Por outro lado, um aumento na utilização do canal poderia ocorrer, quando os dois falam simultaneamente, mas que é de pouca frequência.

Definindo-se a ATIVIDADE MÉDIA como sendo a porcentagem do tempo em que a energia acima de um limiar muito baixo é transmitida, as medidas efetuadas em uma grande quantidade de canais telefônicos ([2], [3] e [4]) indicam uma atividade média de 35% a 40%, significando uma ociosidade de 60% a 65% em cada sentido.

Um tratamento mais detalhado da Atividade Média pode ser feito como segue [2]:

$$A_m = A_c.F_s.E_f$$

Onde:

A_m = Atividade Média.

Esta Atividade Média é a relação entre a presença de surtos de energia (voz) e o tempo total de ocupação do canal, sendo definidos como silêncio (ausência de voz) somente aqueles períodos de no mínimo 350 ms em que a potência média a curto prazo permanece mais que 15 dB abaixo da potência média a longo prazo.

A potência média a curto prazo significa a potência média sobre um intervalo de tempo de 10 ms a 20 ms.

A potência média a longo prazo é definida pela equação:

$$P = (V_o - 1,4) \text{ dBm}$$

Onde V_o é o volume constante de uma fala contínua. Esta fala inclui somente as pausas naturais entre as palavras ou sílabas, não incluindo as pausas para pensar ou para esperar respostas.

O fator de conversão -1,4 dB é o resultado de testes empíricos com uma variedade de pessoas lendo um texto (fala contínua).

O termo longo prazo significa que a medida foi efetuada com uma constante de tempo superior a 10 s.

F_s = Fator que representa o fato de que em uma conversa telefônica, enquanto um fala, o outro ouve e vice-versa.

A_c = Atividade Média da fala contínua (por exemplo, a leitura de um texto). Determinado por experiências que fica entre 65% e 75%.

E_f = Representa a eficiência de tronco do sistema. É da ordem de 0,7 para circuitos nacionais e 0,9 para internacionais, na HMM (Hora de Maior Movimento).

Considerando-se $A_c = 0,725$ e $F_s = 0,5$, obtém-se:

- Para circuitos nacionais: $E_f = 0,7$ ----> $A_m = 0,25$

- Para circ. internacionais: $E_f = 0,9$ ----> $A_m = 0,33$.

Se forem considerados outros fatores como tempo de espera para chamar outra pessoa, para pensar, etc., a Atividade Média pode chegar a:

$A_m = 0,18$ em circuitos nacionais.

$A_m = 0,25$ em circuitos internacionais.

Apesar da atividade média dos canais ser muito baixa, a detecção prática destes valores é muito difícil, devido às perturbações de diversas naturezas, tais como ruído, diafonia, eco, etc.

2.7. DETECTORES DE VOZ.

Os detectores de voz, que são os circuitos que detectam os canais ativos alcançam, geralmente, uma atividade média da ordem de 40%.

Um detector de voz para esta aplicação deve ser capaz de discriminar a voz a níveis inferiores da de ruídos e ter persistência (Hangover) para que as pausas não sejam notadas pelos usuários.

Um detector com estas características pode ser obtido pela análise de:

- Potência média.
- Função de densidade de probabilidade.
- Número médio de cruzamentos de zeros.

Estes parâmetros são razoavelmente diferentes para os sinais de voz, ruído branco (Gaussiano) e ruído ambiental, possibilitando a implementação de detectores de voz em tempo real de boa qualidade, pela análise dos sinais já digitalizados [2].

2.8. CONCLUSÕES.

Os sistemas de digitalização de voz, através das técnicas de modulação por codificação por pulsos (PCM) e multiplexação por divisão no

tempo (TDM) apresentam a vantagem de transmitir os sinais na forma binária, o que reduz a interferência de ruídos existentes em qualquer meio real de transmissão, com um atraso desprezível.

O sistema PCM/TDM é um concentrador natural de canais telefônicos, sendo a estrutura básica utilizada nos atuais concentradores. Entretanto, nestes concentradores, o número de usuários simultaneamente ativos é limitado ao número de canais de transmissão, pois para cada usuário que inicia a comunicação é atribuído um canal fixo e este permanece alocado a este usuário até a desconexão.

Isto faz com que a utilização dos canais não seja eficiente, por não aproveitar os momentos de silêncio sempre existentes em uma comunicação telefônica, isto é, apresenta uma baixa taxa de Atividade Média nos canais de transmissão.

O detector de voz, que é um circuito fundamental para a utilização dos momentos de silêncio dos canais telefônicos, é de implementação complexa, pois deve analisar características específicas de sinais de voz.

CAPÍTULO 3

INTERPOLAÇÃO DIGITAL DE VOZ

3.1. INTRODUÇÃO.

"O número de circuitos telefônicos oferecidos pelo sistema de cabo submarino pode ser dobrado usando os intervalos de silêncio normais em conversação para interpolar comunicações adicionais.

TASI (Time Assignment Speech Interpolation) é um sistema de transmissão e comutação de alta velocidade que aloca o usuário em um canal tão logo inicie a fala e o desconecta na pausa, se algum outro usuário necessitar do canal. A comutação de canal para canal pode ocorrer muitas vezes durante uma chamada, mas o efeito na qualidade de transmissão é desprezível porque o tempo de comutação é rápido comparado com a taxa silábica".

Com esta introdução, K. Bullington e J. M. Fraser iniciam o artigo "Aspectos de Engenharia do TASI" [3], de 1.959, que apresenta os princípios da multiplexação estatística de voz, aproveitando os momentos de silêncio para inserção de mais comunicações, resultando em número de

conversações maior que o número físico de meios existentes.

O tratamento matemático desenvolvido, embora contestado na sua conceituação por Weinstein em 1.978 [10], apresentou resultados numéricos que justificaram o desenvolvimento do correspondente equipamento e a utilização em cabos submarinos existentes, com sucesso.

Resultante da tecnologia analógica da época, a utilização do sistema TASI ficou confinado a aplicações em enlaces de alto custo de instalação, como cabos submarinos, devido a dificuldades de eficientes detectores de voz e sistemas de comunicação velozes entre os equipamentos envolvidos.

A mudança tecnológica no sentido da digitalização da rede telefônica abriu novas perspectivas para a técnica de interpolação de voz, uma vez que os sinais digitais podem ser armazenados e processados em alta velocidade por computador, possibilitando a análise dos sinais de voz de forma detalhada.

3.2. ESQUEMA DE INTERPOLAÇÃO DIGITAL DE VOZ.

Nos concentradores de linhas de assinantes descritos no Capítulo 2 ocorrem as alocações prévias dos canais digitais de comunicação, o que impossibilita a utilização de um canal alocado a um assinante por outro e resulta em baixa eficiência de utilização do canal, devido aos momen-

tos de silêncio existentes nas comunicações telefônicas.

A utilização compartilhada dinamicamente dos canais tem sido proposta por diversos autores ([3], [4], [5], [6] e [7]), como forma de integração de voz e dados.

A solução para a transmissão de voz nesta forma é do tipo pacote simplificado, denominado ENVELOPE, em que cada um deles carrega a informação necessária para chegar ao destino, desvinculando a necessidade de alocação prévia dos canais (janelas temporais) de transmissão.

A transmissão dos sinais em forma de envelope requer a reestruturação dos formatos das informações nos meios de transmissão digital, conforme mostrado na figura 3.1.

O espaço (tempo) ocupado por um envelope forma a nova janela temporal e uma certa quantidade de envelopes forma um quadro, onde as janelas temporais são repetidas ciclicamente.

A ocupação de uma posição no quadro é feita dinamicamente pela presença dos sinais de voz, que são transmitidos em forma de envelope. Para que um surto de voz alocado seja transmitido e recuperado de forma uniforme, é necessário um algoritmo que garanta a posição para este surto, até que aconteça um novo intervalo de silêncio.

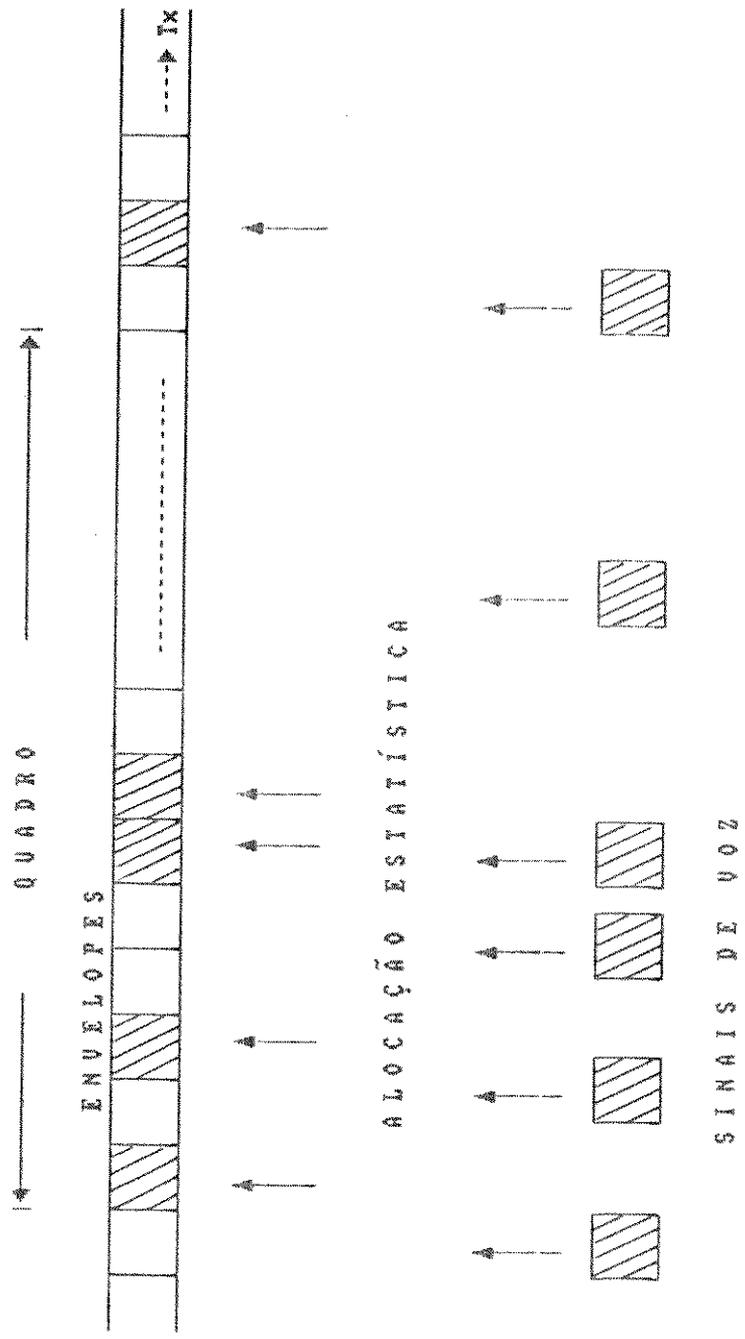


Figura 3.1 - Alocação estatística de voz em forma de envelope.

Portanto, este esquema possibilita a multiplexação das posições dos quadros por diversos usuários, sendo que cada surto de voz ocupa aleatoriamente uma posição vaga.

3.3. FORMATO DOS ENVELOPES.

As formatações dos envelopes propostos são diversos, sendo as diferenças decorrentes principalmente de:

- . Diferentes formas de comutação - tipo datagrama ou circuito virtual.
- . Tamanho do quadro, tanto dos bits de controle como dos bits de informação.
- . Controle de congestionamento - perda do envelope ou redução da taxa de amostragem.

Alguns dos formatos propostos são mostrados nas figuras 3.2 [4] e 3.3 [5].

3.4. CONSIDERAÇÕES SOBRE TRANSMISSÃO POR ENVELOPE.

A transmissão de voz na forma de envelope, se por um lado possibilita interligar mais usuários simultaneamente do que o PCM/TDM convencional, aumentando também o total de terminais no concentrador, tem por outro lado, as seguintes desvantagens principais:

- Maior complexidade e custo de implementação, tanto pela necessidade de detector de voz de alta qualidade, como pela necessidade de buffers para armazenamento dos sinais amostrados e respectivos controles.
- Introduz atrasos no envio das informações, podendo provocar um desagradável efeito psicológico.
- Possibilidade de degradação na qualidade de voz, pelas perdas de envelopes devido ao congestionamento instantâneo (freezeout) ou se para evitar esta perda, for adotada a redução do número de bits usados para codificar as amostras PAM (Modulação por Amplitude de Pulsos) ou redução da frequência da amostragem.

Entretanto, a tecnologia está cada vez mais avançando no sentido de viabilizar a transmissão de voz em forma de envelope, pela disponibilidade de processadores de alta velocidade, memórias de alta capacidade a custos reduzidos e técnicas avançadas de processamento de sinais.

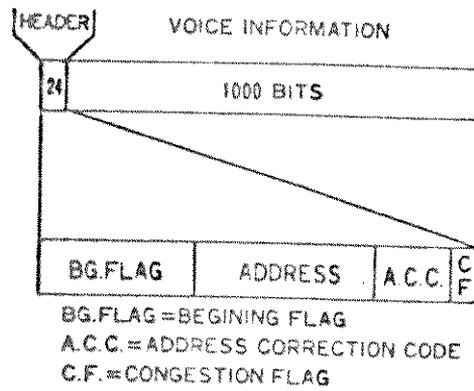


Figura 3.2 - Uma tentativa de estrutura do pacote [4].

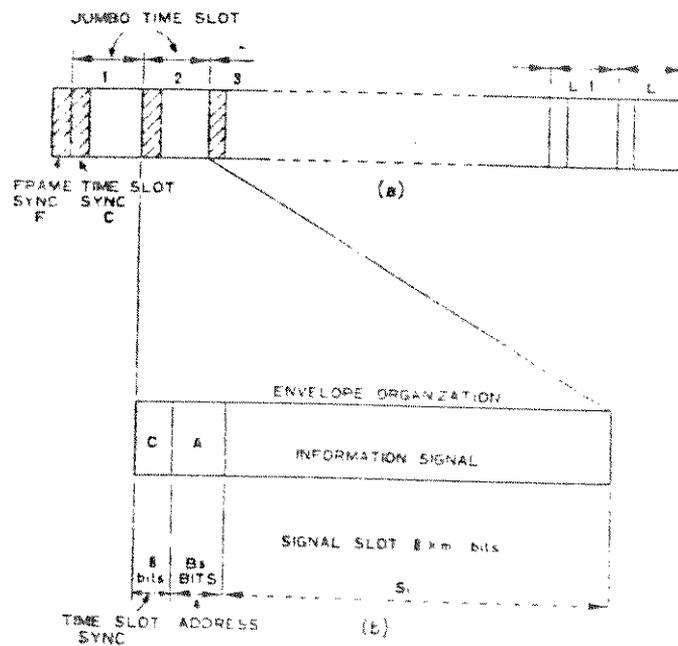


Figura 3.3 - Organização do envelope e quadro [5].

3.5. CONCLUSÕES.

A idéia do aproveitamento de períodos de silêncio, naturalmente existentes em comunicações telefônicas para aumentar a capacidade de um meio de transmissão, através do esquema de multiplexação estatística já existe aproximadamente 40 anos, sendo que as primeiras implementações analógicas aconteceram há cerca de 30 anos, utilizadas em sistemas onerosos e difíceis de serem instalados, como os cabos submarinos intercontinentais.

Os sinais digitais podem ser processados/analísados de forma mais econômica do que os sinais analógicos. Desta forma, a digitalização da rede telefônica abriu novas perspectivas para aumentar a capacidade dos meios de transmissão existentes pela utilização do esquema de interpolação digital.

CAPÍTULO 4

PROPOSTA DE ORGANIZAÇÃO DO ENVELOPE

4.1. INTRODUÇÃO.

A organização do envelope é fundamental no desempenho de um sistema com interpolação digital, pois dela resultam diversos aspectos de projeto, tais como:

- a. Arquitetura do sistema
- b. Atraso dos sinais de voz
- c. Eficiência na utilização do sistema de transmissão

Portanto, a organização do envelope deve ser estudada no sentido de otimizar estes parâmetros de forma a viabilizar a interpolação digital. Neste capítulo são analisados os compromissos de atraso dos sinais de voz e eficiência na utilização do sistema de transmissão para diversos tamanhos de envelopes, concluindo-se por uma organização que atende estes requisitos.

4.2. ESTRUTURA DO ENVELOPE.

Considerando a atual padronização do sistema de transmissão digital, a organização do envelope tem como dados de entrada as seguintes premissas de projeto:

- . Encaminhamento por alocação prévia de memórias de endereço
- . Digitalização de voz por PCM/TDM convencional
- . Palavras de 8 bits
- . Taxa de amostragem de 8 Khz (64 Kbit/s por usuário ativo)
- . Taxa de transmissão de 2,048 Mbit/s

A partir destas premissas a organização do envelope pode ser definida, sendo que, estruturalmente, o envelope é constituído de 2 campos, a saber:

a. Campo de cabeçalho:

Neste campo estão contidos os bits de sincronismo de envelope e os bits de endereçamento.

b. Campo de informação:

Neste campo estão contidos os bits de informação.

Desta forma, um envelope pode ser visualizado como segue:



Figura 4.1.

4.2.1. Campo de Cabeçalho.

Considerando que o encaminhamento considerado é do tipo alocação prévia de memórias, o cabeçalho pode ser reduzido ao mínimo, devendo conter apenas as informações de controle e endereço, ficando com a seguinte configuração:

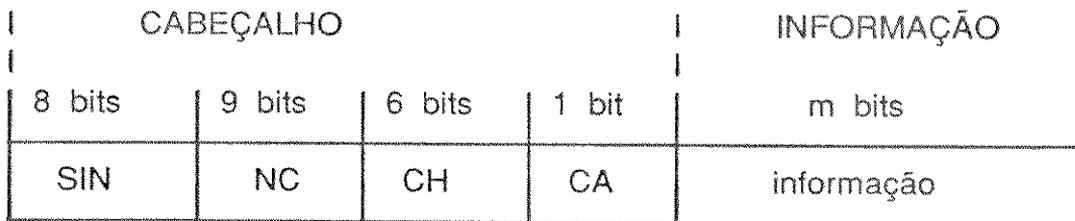


Figura 4.2.

onde:

SIN = sincronismo do envelope, com 8 bits.

NC = Número do circuito alocado, com 9 bits. Esta quantidade possibilita a identificação de até 512 endereços, ficando alguns

deles para a comunicação entre as duas unidades.

CH = cheque de dígitos, com 6 bits. Como a correta identificação do circuito alocado é fundamental para que não ocorra erros de encaminhamento de mensagens, estes bits testam a correta recepção dos dígitos. Inclusive, é conveniente que os bits (NC+Ch) componham um código corretor de erros (por exemplo, polinomial (15,9)) para que a recepção consiga corrigir erros de transmissão.

CA = condição do assinante, com 1 bit. Este possibilita informar as 2 condições do assinante (conexão ou conversação), e que serve para que o envelope com a condição de conexão tenha prioridade, para que não ocorram erros nesta fase.

4.2.2. CAMPO DE INFORMAÇÃO.

Uma vez fixada a quantidade de bits do cabeçalho, os m bits de informação podem ser determinados entre dois compromissos conflitantes, que são a eficiência e o atraso.

4.3. EFICIÊNCIA DO ENVELOPE.

Definindo a eficiência do envelope como sendo a relação:

$$\text{Efe} = \frac{\text{No. de bits de inf./envelope}}{\text{No. total de bits/envelope}}$$

Observa-se que, fixada a quantidade de bits do cabeçalho, quanto maior o número de bits de informação m , maior será a eficiência do envelope. Entretanto, o comprimento do campo de informação não pode ser aumentado indefinidamente pois isto implica diretamente no atraso da informação, aumentando os tamanhos dos buffers e no caso de perda de um envelope, provocar descontinuidade perceptível, além de aumentar a probabilidade de perder o sincronismo.

Portanto, deve ser obtido um valor razoável de eficiência, em concordância com um razoável valor de atraso.

Para uma dada configuração, a eficiência reflete diretamente a quantidade máxima de usuários que podem ser atendidos simultaneamente, sem que haja a ocorrência de freezeout.

Assim, para um sistema PCM com taxa de amostragem por usuário de 8 Khz (64 Kbit/s), taxa de transmissão de 2,048 Mbit/s e cabeçalho de envelope de 24 bits, tomando como exemplos alguns casos de comprimentos de envelope e pela aplicação da fórmula:

$$(2048000 * \text{Efe})/64000 = c \quad (\text{No. de envelopes por quadro})$$

obtém-se a tabela 4.1.

m+24 (bits)	Efe	c	AE
64	0,625	20	5
128	0,813	26	13
256	0,906	29	29
512	0,953	30,5	61
1024	0,977	31,25	125
2048	0,988	31,625	253

Tabela 4.1.

Onde:

Efe = eficiência do envelope

c = número de envelopes por quadro

AE = amostras por envelope

Desta forma, observa-se o aumento do número de usuários com o aumento do número de bits/envelope, equiparando-se com o PCM convencional com envelopes de 512 bits e apresentando vantagens acima deste valor.

Para os casos de envelopes com comprimentos de 512, 1024 e 2048 bits foram obtidos valores fracionários para c. Como estes números devem ser inteiros, significa que entre os quadros de envelopes (defini-

do no item a seguir) existem intervalos que podem ser utilizados para informações adicionais, tais como sincronismo de quadro de envelope, sinalização de alarme, etc.

Definindo a eficiência do quadro de envelope como sendo:

$$E_{fq} = \frac{\text{No. de bits de informação/quadro}}{\text{No. total de bits /quadro}}$$

Calculando E_{fq} para os casos de comprimentos de envelopes da tabela 4.1, obtém-se:

m+24 (bits)	c	E_{fq}
64	20	0,625
128	26	0,813
256	29	0,906
512	30	0,9375
1024	31	0,96875
2048	31	0,96875

Tabela 4.2.

No caso do PCM convencional, a eficiência do quadro é:

$$30/32 = 0,9375$$

Portanto, comparando com a composição do PCM convencional, o quadro com envelopes de 512 bits tem a mesma eficiência e os de 1024 e 2048 tem eficiências melhores.

A escolha do número de bits/envelope deve ser feita levando-se em conta estes resultados, com o compromisso de atraso de informação, estudado no item a seguir.

4.4. ATRASOS NOS SINAIS DE VOZ.

Diversos são os fatores que contribuem para provocar atrasos, tais como armazenamento, "empacotamento", propagação, etc. Nesta proposição, o atraso total é obtido considerando-se a adoção da multiplexação do tipo envelope descrito e o seguinte esquema sincronizado:

a. Os Envelopes são transmitidos em blocos, denominados quadros de envelopes, tendo três etapas cronológicas distintas:

- Montagem
- Transmissão
- Leitura.

b. Cada etapa subsequente não é iniciada até que a etapa em curso seja concluída, conforme o esquema da figura 4.3.

- c. Na etapa de montagem do quadro de envelopes são considerados os tempos gastos apenas na amostragem dos sinais de voz a uma taxa de 8 K amostras/s por usuário, não sendo considerados os tempos para a montagem dos cabeçalhos, pois considera-se que estes são montados apenas uma vez no início do processo.
- d. O tempo de transmissão aqui considerado é o tempo necessário para enviar um quadro completo, a uma taxa de 2,048 Mbit/s.
- e. O tempo de leitura é o mesmo gasto para a montagem, pois as amostras são lidas também a uma taxa fixa de 8 K amostras/s por usuário.
- f. Os demais tempos, como a leitura da amostra, codificação e armazenamento na memória, leitura da memória de saída, propagação, leitura e decodificação da memória de entrada não são considerados nesta análise, por serem da ordem de microssegundos e desprezíveis comparados com os tempos dos itens c, d e e acima, que são da ordem de milissegundos.
- g. Neste esquema, cada amostra sofre o mesmo atraso que as demais, pois a que espera menos na memória de saída (empacotamento), espera mais na memória de entrada (desempacotamento).

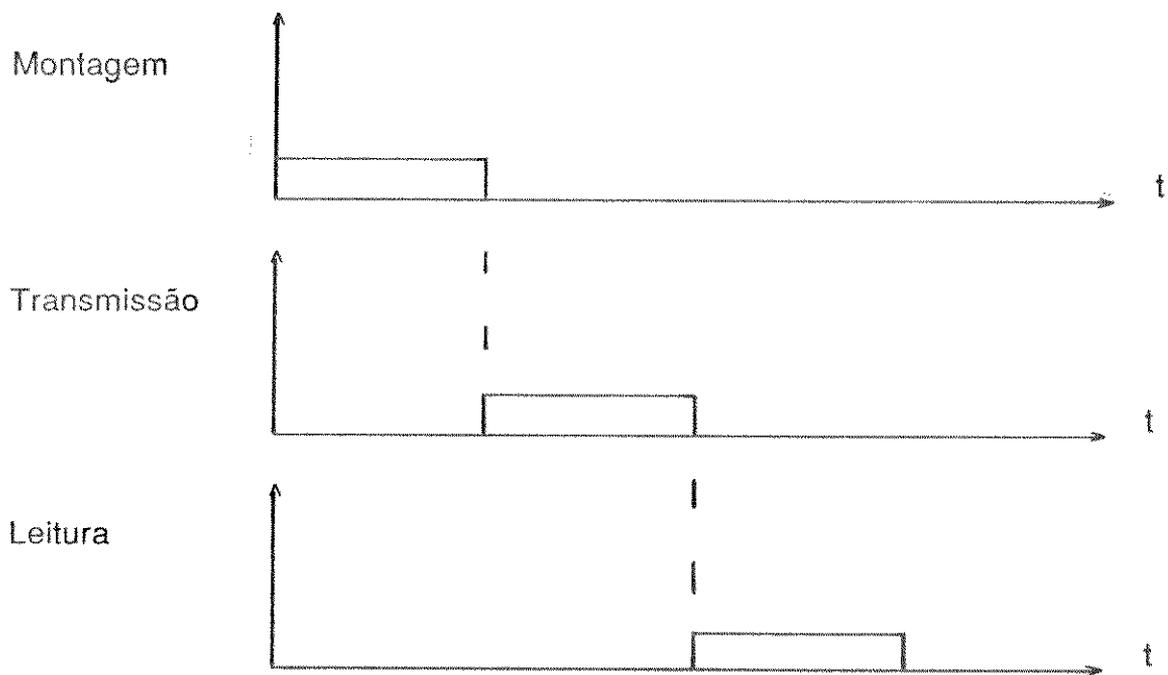


Figura 4.3 - Esquema de montagem, transmissão e leitura de quadros de envelopes.

As composições dos tempos, construídas a partir destas premissas, para os diversos exemplos de comprimentos de envelopes, estão esquematizadas nas figuras 4.4 a 4.9.

Os tempos obtidos conforme estas figuras estão resumidos na tabela 4.3 e os gráficos de eficiência de quadro e atraso do sinal em relação ao comprimento dos Envelopes são os das figuras 4.10 e 4.11, respectivamente.

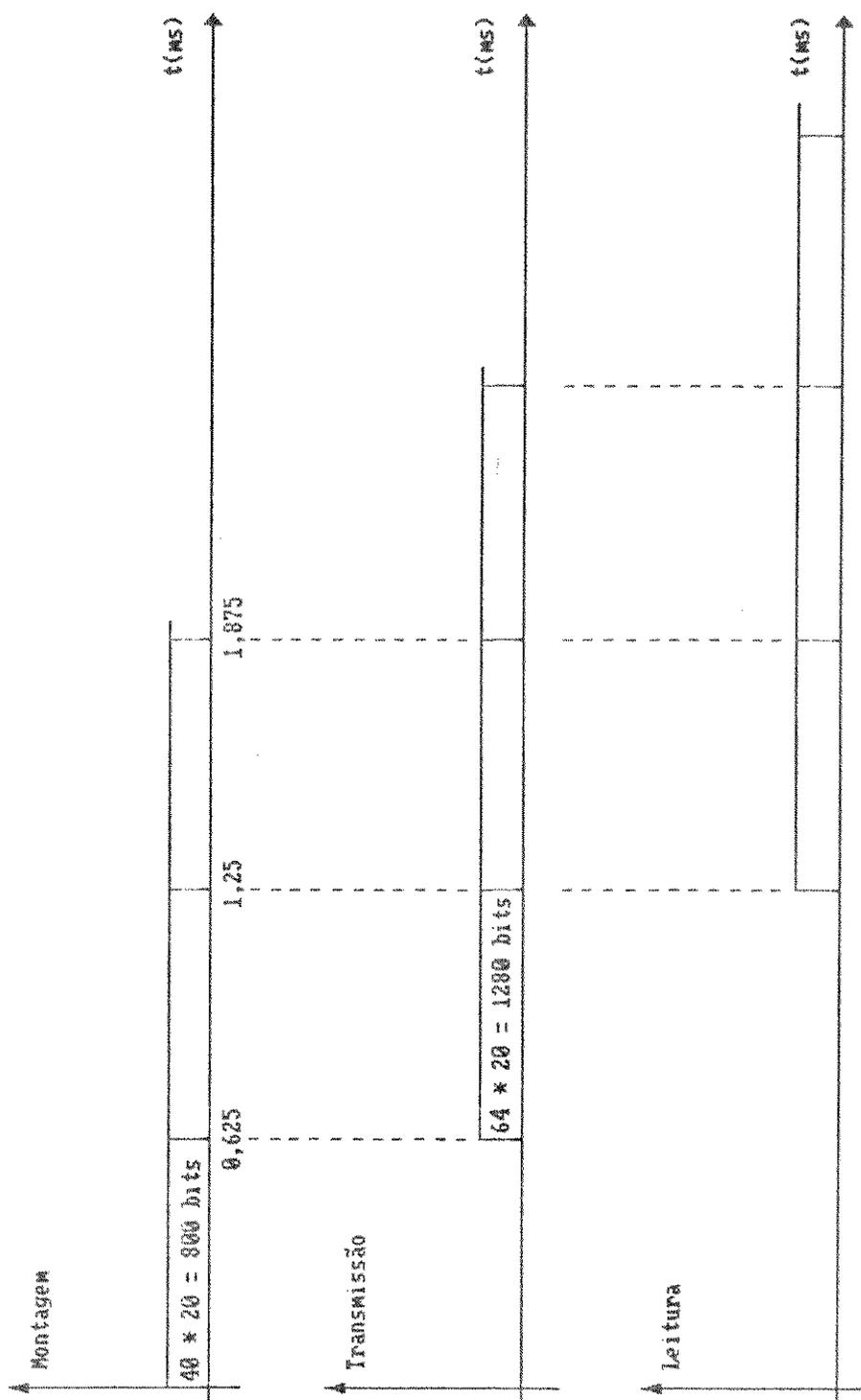


Figura 4.4 - Diagrama de tempo

Número de envelopes por quadro $c = 20$
 Número de bits de informação por envelope = 40
 Número de bits de cabeçalho por envelope = 24
 Número total de bits por envelope = 64
 Número total de bits por quadro para transmissão = 1.280
 Atraso = 1,25 ms

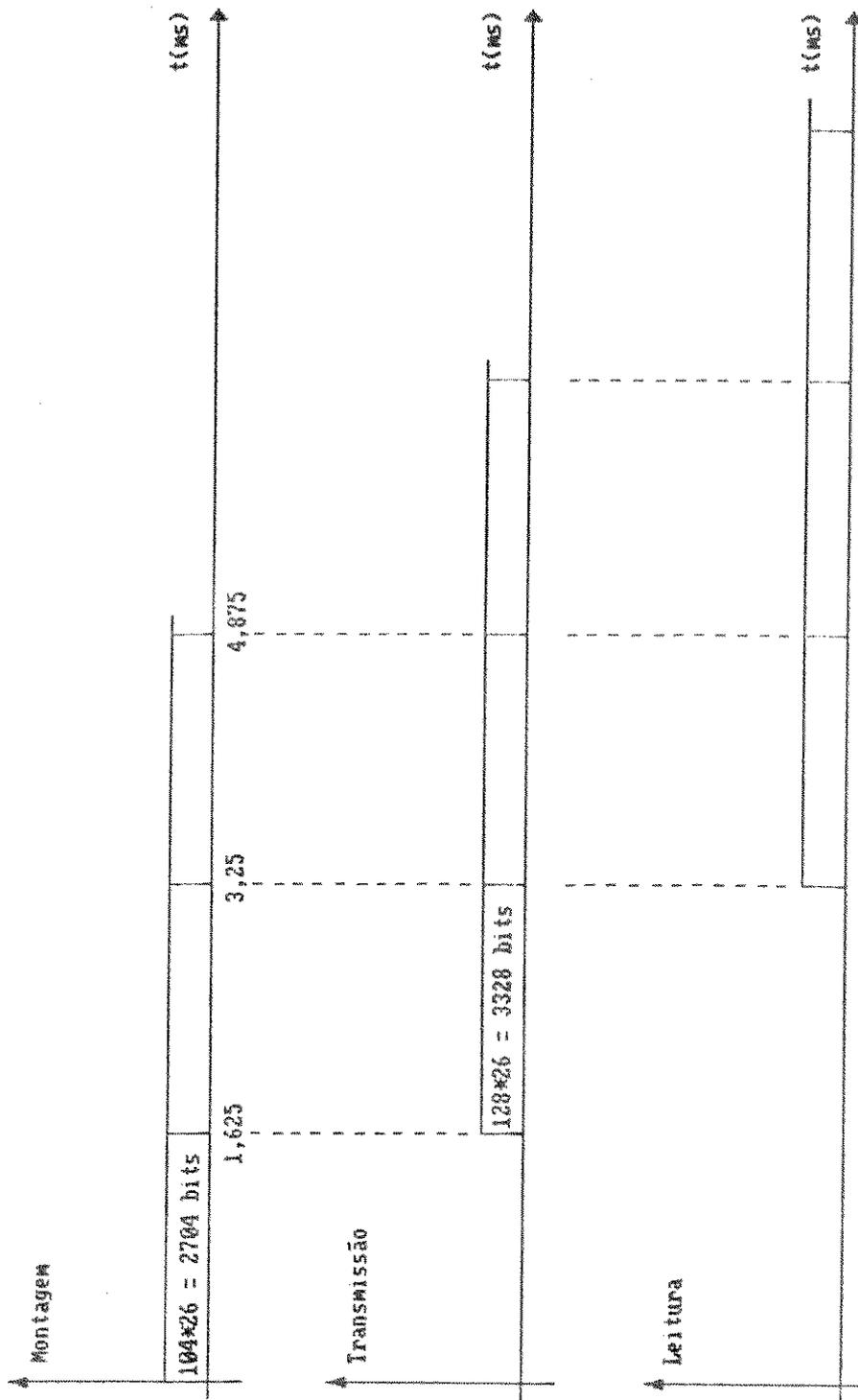


Figura 4.5 - Diagrama de tempo

Número de envelopes por quadro $c = 26$
 Número de bits de informação por envelope = 104
 Número de bits de cabeçalho por envelope = 24
 Número total de bits por envelope = 128
 Número total de bits por quadro para transmissão = 3.328
 Atraso = 3,25 ms

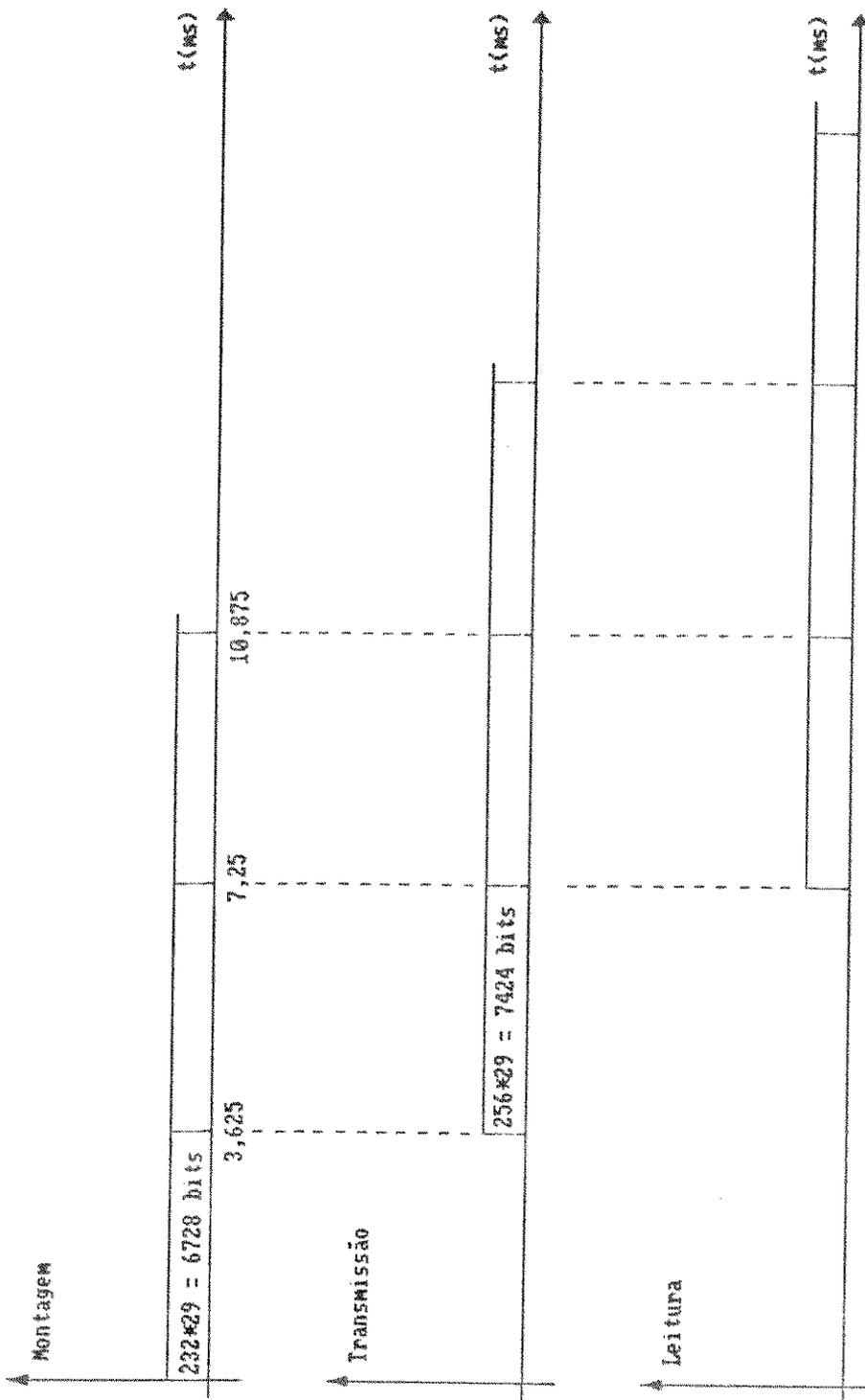


Figura 4.6 - Diagrama de tempo

Número de envelopes por quadro $c = 29$
 Número de bits de informação por envelope = 232
 Número de bits de cabeçalho por envelope = 24
 Número total de bits por envelope = 256
 Número total de bits por quadro para transmissão = 7.424
 Atraso = 7,25 ms

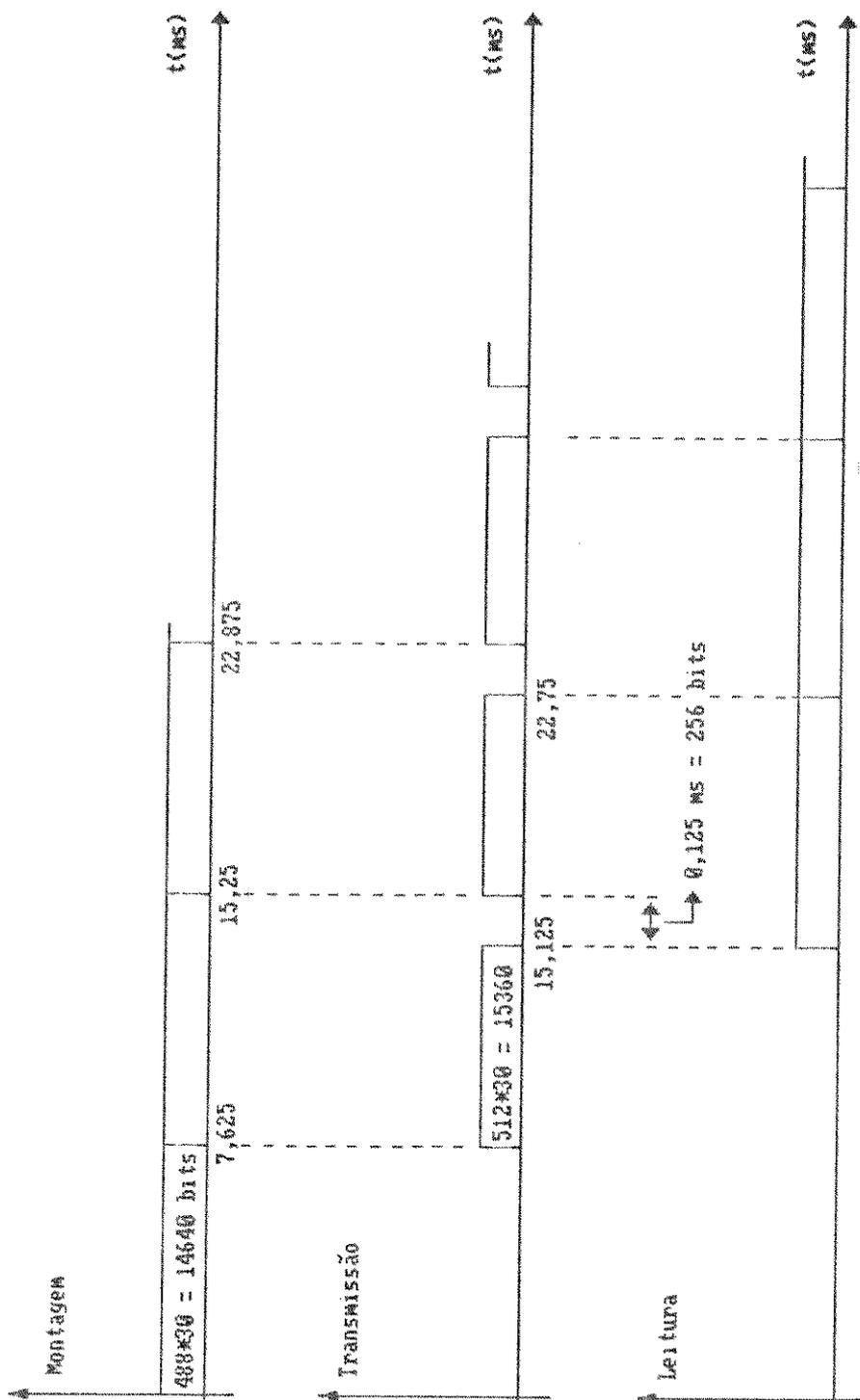


Figura 4.7 - Diagrama de tempo

Número de envelopes por quadro $c = 30$
 Número de bits de informação por envelope = 488
 Número de bits de cabeçalho por envelope = 24
 Número total de bits por envelope = 512
 Número total de bits por quadro para transmissão = 15.360
 Atraso = 15,125 ms

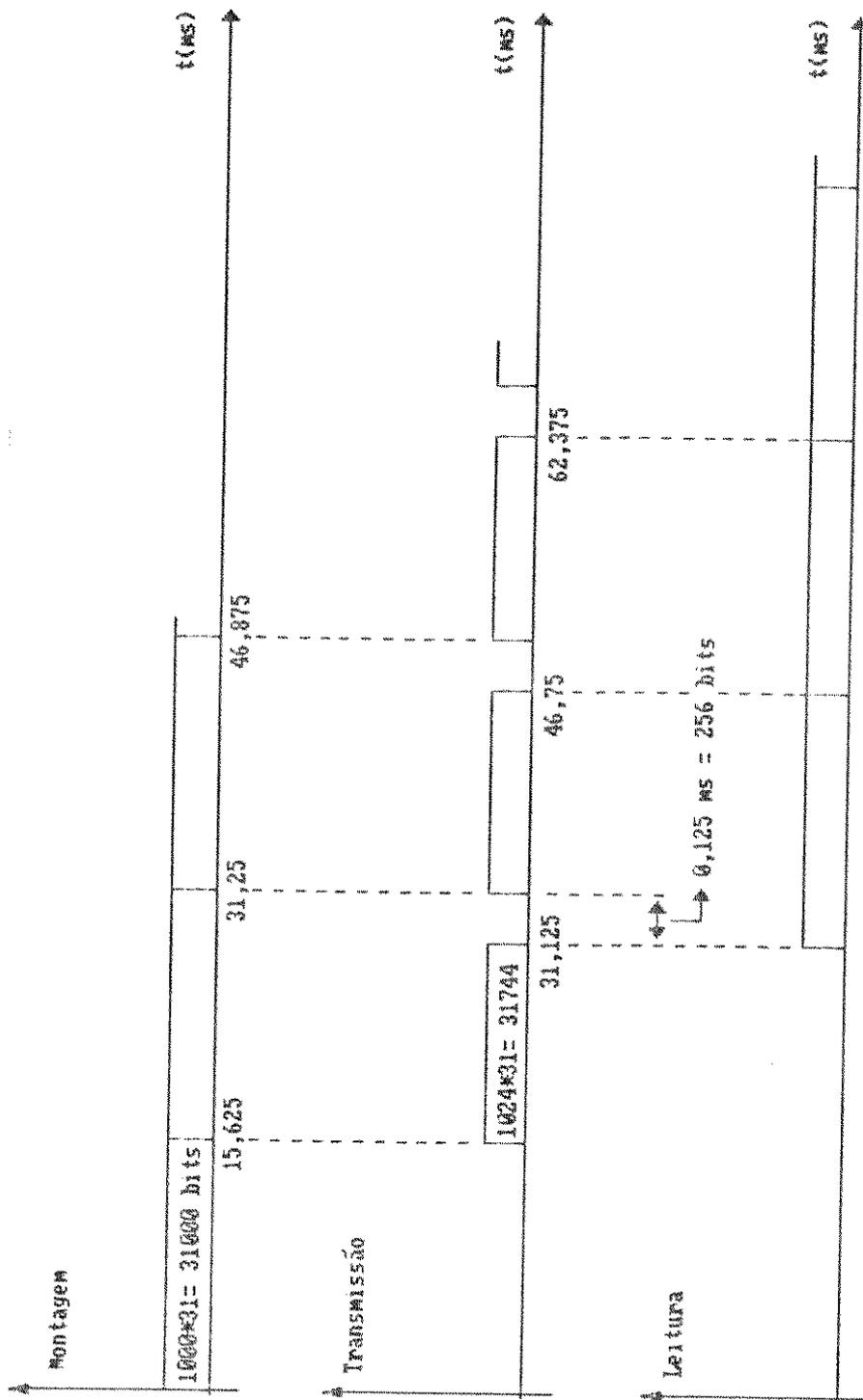


Figura 4.8 - Diagrama de tempo

Número de envelopes por quadro $c = 31$
 Número de bits de informação por envelope = 1.000
 Número de bits de cabeçalho por envelope = 24
 Número total de bits por envelope = 1.024
 Número total de bits por quadro para transmissão = 31.744
 Atraso = 31,125 ms

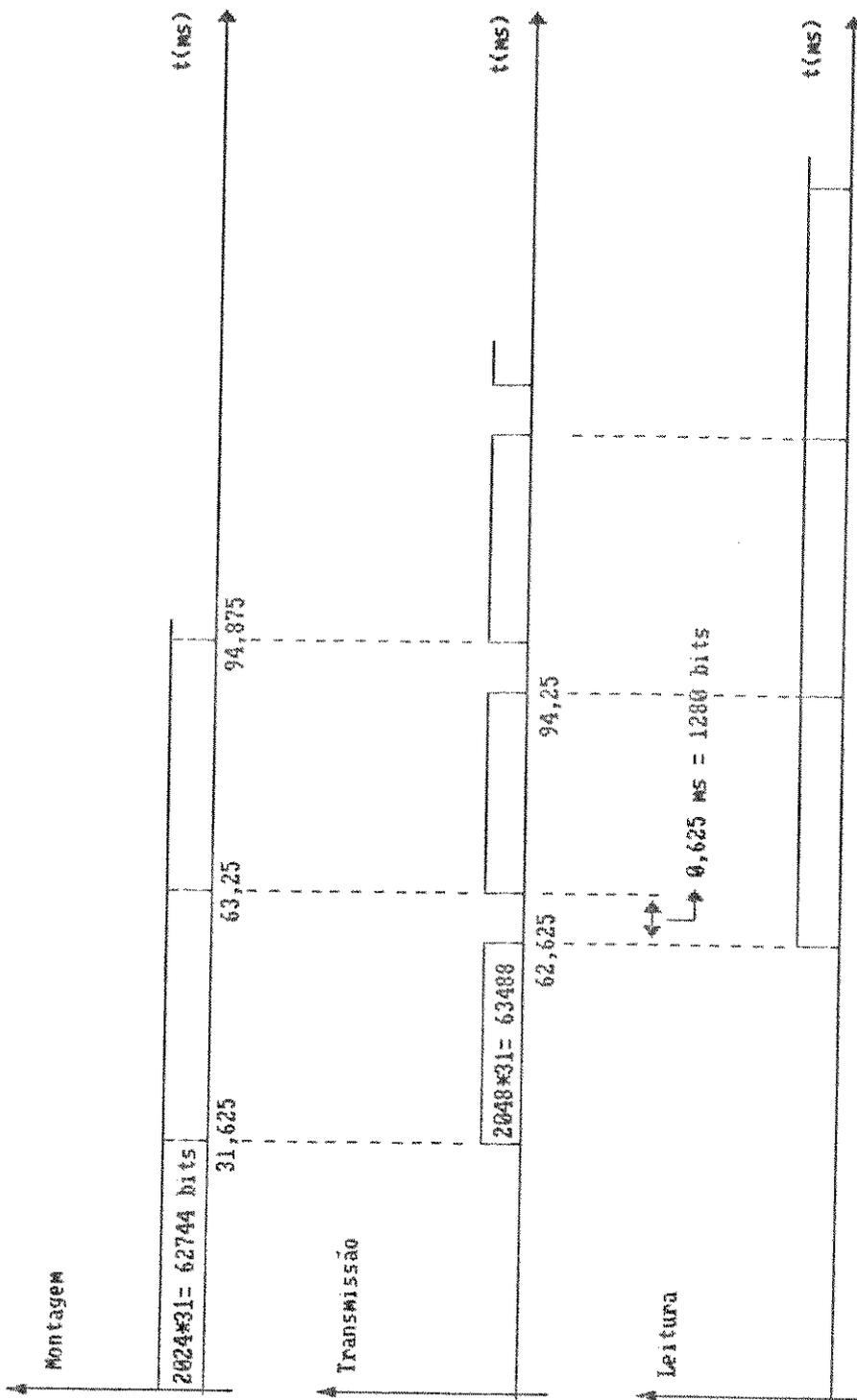


Figura 4.9 - Diagrama de tempo

Número de envelopes por quadro $c = 31$
 Número de bits de informação por envelope = 2.024
 Número de bits de cabeçalho por envelope = 24
 Número total de bits por envelope = 2.048
 Número total de bits por quadro para transmissão = 63.488
 Atraso = 62,625 ms

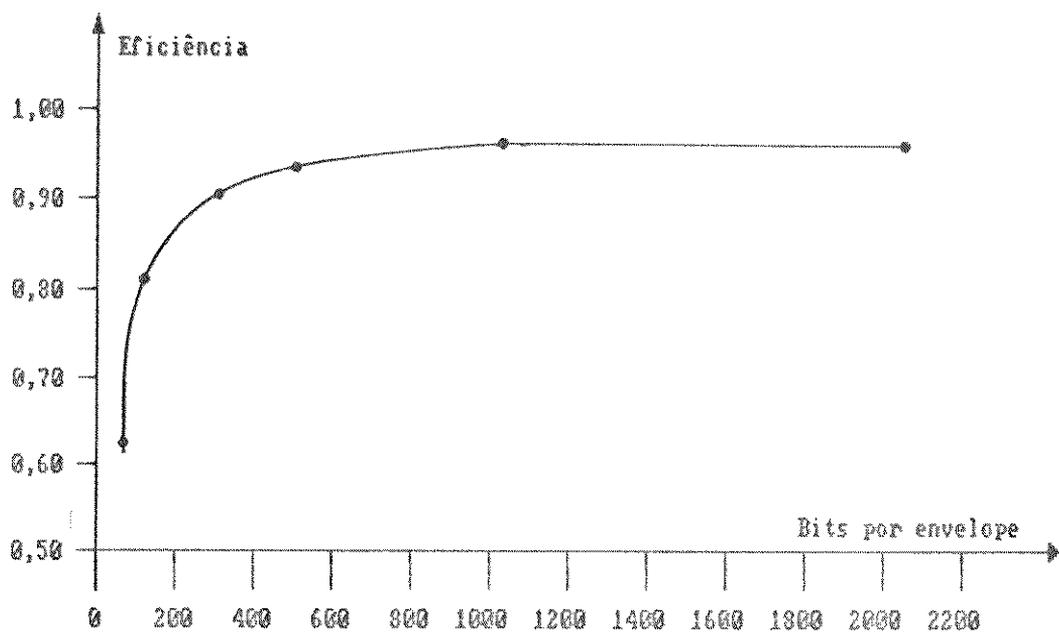


Figura 4.10 - Relação entre a eficiência do quadro e comprimento do envelope.

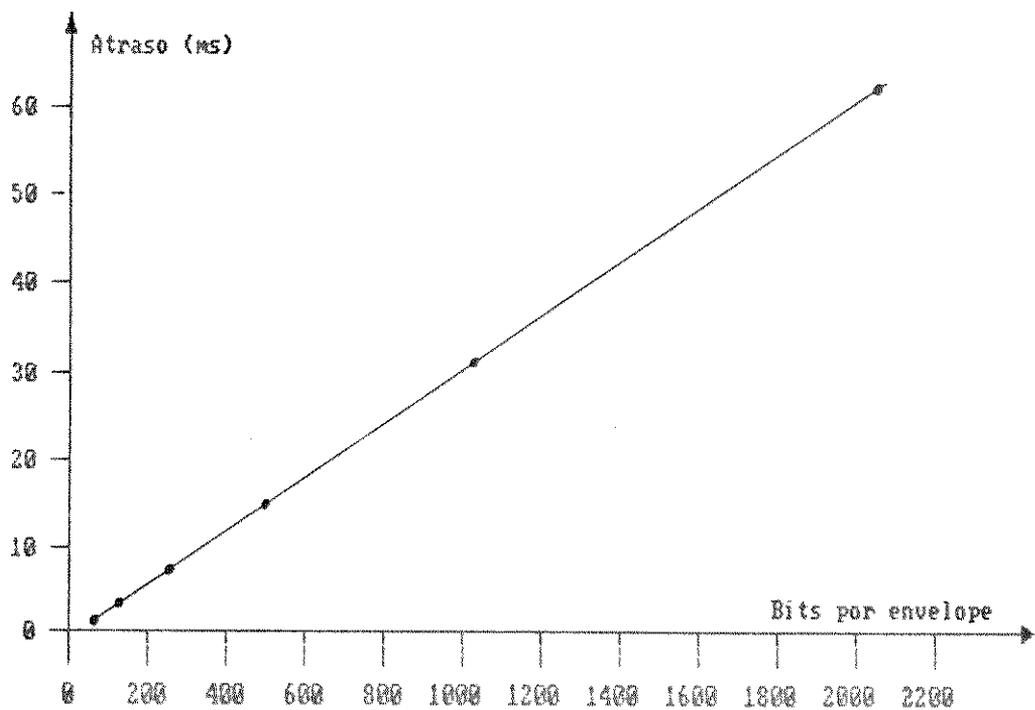


Figura 4.11 - Relação entre o atraso do sinal e o comprimento do envelope.

m+24 (bits)	c	atraso (ms)
64	20	1,25
128	26	3,25
256	29	7,25
512	30	15,125
1024	31	31,125
2048	31	62,625

Tabela 4.3 - Atraso em função do tamanho do envelope.

4.5. CONCLUSÕES.

- a. Pela análise dos dados da eficiência (Tabelas 4.1 e 4.2), conclui-se que os comprimentos dos Envelopes devem ser de 512 bits ou 1024 bits, pois com estes valores os números de usuários que podem estar simultaneamente ativos (30 ou 31) são iguais ou superiores ao sistema PCM convencional (30 usuários). O comprimento de 2048 bits não apresenta vantagem em relação ao de 1024 bits.
- b. Os testes subjetivos realizados [8] mostram que os atrasos terminal a terminal superiores a 250 ms provocam desagradáveis efeitos psicológicos e cortes de valores inferiores a 40 ms são imperceptíveis [11]. Portanto, pela observação da tabela 4.3, os comprimentos de 512 bits

e 1024 bits são também confirmados pelo parâmetro de atraso.

c. Além dos aspectos de qualidade dos sinais de voz abordados nos itens a e b anteriores, a adoção de envelopes de 512 bits ou 1024 bits favorece adicionalmente a um aspecto de projeto.

Pelas figuras 4.7 e 4.8 podem ser observados que os tempos de montagem (empacotamento) dos quadros são maiores (0,125 ms) do que os tempos de transmissão, tanto na utilização de 30 envelopes como de 31 envelopes por quadro. Isto permite a inserção de 255 bits entre a transmissão de um quadro e outro, que podem ser utilizados para sincronismo e sinalização entre quadros, o que não seria possível se fossem utilizados envelopes mais curtos.

d. Para este trabalho serão adotados os seguintes critérios para escolher o comprimento do envelope:

d.1. A eficiência do quadro deverá ser pelo menos igual ao do sistema PCM convencional.

d.2. O atraso a ser introduzido pelo esquema de interpolação digital deverá ser o menor possível.

Desta forma, para os estudos subsequentes será considerado apenas o envelope de 512 bits de comprimento.

CAPÍTULO 5

PROPOSTA DE CONCENTRADOR TELEFÔNICO COM INTERPOLAÇÃO DIGITAL DE VOZ

5.1. INTRODUÇÃO.

Um concentrador telefônico capaz de transmitir e receber sinais de voz digitalizados em forma de envelope, com esquema de alocação dinâmica de canais difere substancialmente do concentrador convencional, apresentado no capítulo 2.

Os sinais provenientes de cada usuário ativo devem ser analisados pelo detector de voz e apenas os envelopes que contém sinais de voz devem ser transmitidos, alocados dinamicamente nos canais livres, resultando em ganho na ocupação do meio de transmissão.

Um concentrador com os órgãos necessários para executar tais tarefas é apresentado neste capítulo.

5.2. ESTRUTURA DO CONCENTRADOR.

O concentrador a ser analisado será apenas a unidade que fica

próxima aos usuários, podendo do lado da central ser uma unidade para centrais analógicas ou conectada diretamente a uma central digital, pressupondo-se o tratamento adequado dos sinais.

O diagrama em blocos do concentrador com esquema de interpolação digital de voz na forma de envelope é apresentado na fig. 5.1.

Neste sistema, os sinais amostrados e codificados a uma taxa de 64 kbit/s são armazenados nas memórias de saída, sendo paralelamente analisados pelo detector de voz.

A cada ciclo de quadro o detector informa quais os envelopes a serem transmitidos. Enquanto ocorre a transmissão dos envelopes a 2,048 Mbit/s os novos sinais devem ser armazenados para a montagem do novo quadro. Portanto, a memória deve ser duplicada.

Os sinais recebidos também em forma de quadro são armazenados nas memórias de entrada, separados pelos endereçamentos contidos nos cabeçalhos e lidos por janelas temporais, também a uma taxa de 64 kbit/s por usuário. Portanto, o tempo gasto para a desmontagem do envelope é o mesmo do gasto para a montagem e esta memória deverá também ser duplicada.

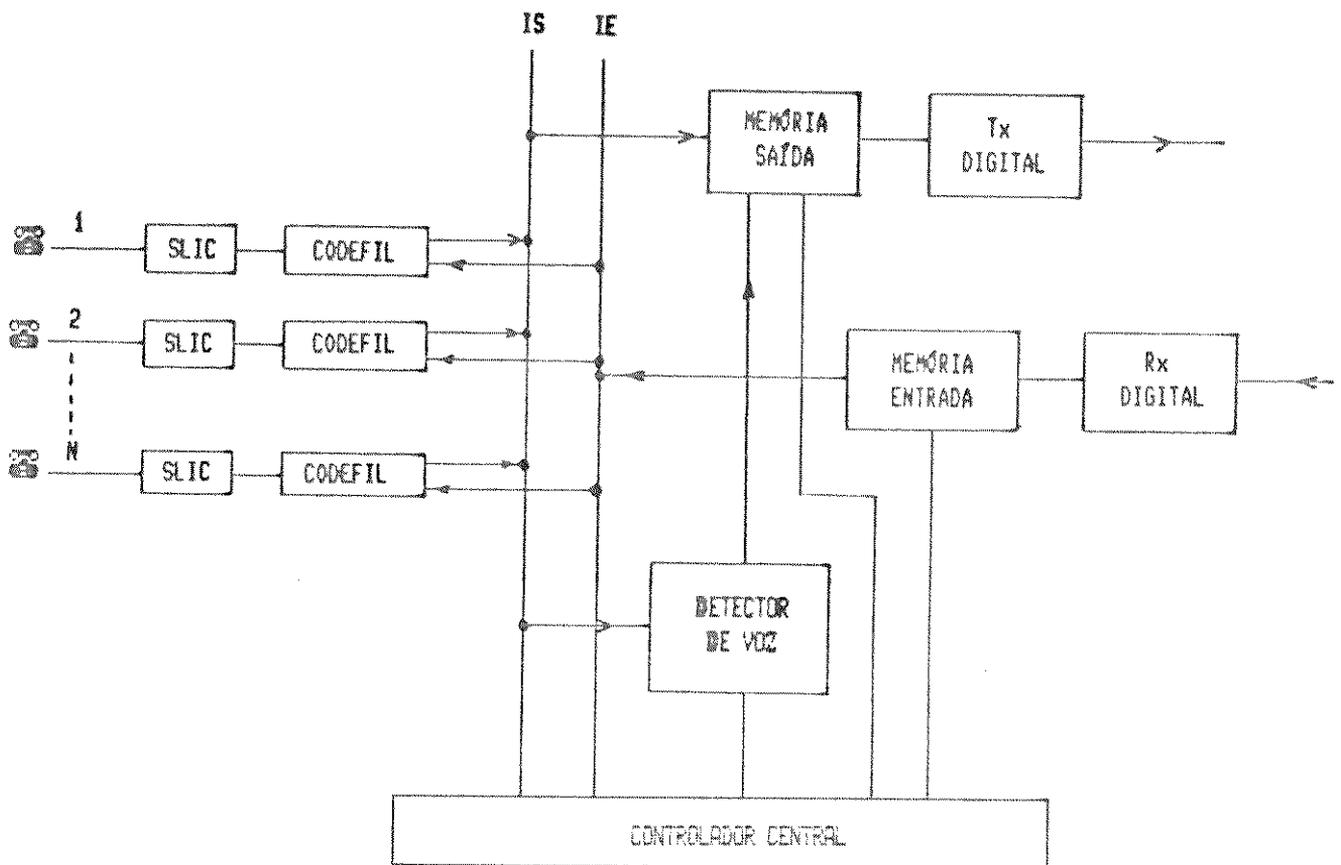


Fig. 5.1 - Diagrama em blocos do concentrador.

- SLIC: Interface de linha de assinante;
- CODEFIL: Codificador/decodificador e filtro;
- IS: barramento dos sinais de saída;
- IE: barramento dos sinais de entrada;
- Memória de saída: Área para armazenamento dos sinais para montagem dos envelopes para transmissão;
- Memória de entrada: Área para armazenamento dos sinais para desmontagem dos envelopes e leitura;
- Detector de voz: Circuito que detecta voz e informa às memórias de saída quais os envelopes que devem ser transmitidos;
- Rx/Tx digital: circuito de tratamento de sinais para a linha.

5.3. DESCRIÇÃO DO SISTEMA.

5.3.1. TERMINAIS DE ASSINANTES.

Os terminais são os analógicos convencionais, ficando a sinalização de linha padrão por conta do SLIC (Subscriber Line Interface Circuit), com a exceção da aplicação de corrente de toque e teste de linha que são feitos por outros equipamentos não representados.

5.3.2. CODEFIL.

Esta unidade atua sobre os sinais de voz e executa as funções de filtragem, compressão segundo lei A, amostragem e codificação, obtendo os sinais PCM, a uma taxa de 8000 amostras por segundo, com palavras de 8 bits, resultando em uma taxa de 64 Kbit/s por usuário, para os sinais originados.

Para os sinais recebidos, executa o inverso, recuperando o sinal analógico.

5.3.3. BUFFER DE SAÍDA.

Memória para armazenamento temporário das informações de saída, onde é feita também a organização do envelope para transmissão, sob o comando do controle central.

5.3.4. BUFFER DE ENTRADA.

Armazena os envelopes que chegam e também auxilia no "desempacotamento" para que as palavras de 8 bits sejam intervaladas para o envio ao decodificador a uma taxa de 64 Kbit/s.

5.3.5. DETECTOR DE VOZ.

Esta unidade analisa o conteúdo do sinal já codificado digitalmente, durante a transfêrencia das palavras do codificador ao buffer de saída e informa ao controlador central se o mesmo foi identificado como voz ou não. Esta unidade possui ainda um banco de memórias auxiliares, para o controle dos canais lidos, já que são necessárias leituras de várias palavras para a decisão do conteúdo.

5.3.6. UNIDADES DE TRANSMISSÃO E RECEPÇÃO DIGITAL.

São circuitos de interface para a adaptação dos sinais digitais unipolares e os sinais convenientes de linha de transmissão (HDB-3 ou AMI).

5.3.7. CONTROLADOR CENTRAL.

O controlador central sincroniza todos os eventos do concentrador,

controla o acesso aos barramentos, apaga as posições do buffer de saída cujas informações não tenham sido detectadas como voz pelo detector de voz, comanda a organização dos envelopes nos buffers de saída e controla a transmissão.

Além disso, o controlador central mantém a tabela atualizada das atividades dos terminais, com os respectivos endereços dos destinos e efetua o controle dinâmico da ativação dos terminais, pelo índice de freezeout.

A representação e a denominação centralizada é apenas acadêmica, podendo as diversas funções serem descentralizadas.

5.4. CONTROLE DO CONGESTIONAMENTO INSTANTÂNEO (FREEZEOUT).

Existe um número máximo de terminais simultaneamente ativos em que todos os envelopes poderão ser transmitidos. Este número máximo depende do tamanho do cabeçalho do envelope, já que os bits correspondentes não transportam informações de voz e este espaço deve ser deduzido da capacidade de transmissão.

O controlador central mantém uma tabela de estatística de freezeout de tal forma que ao ultrapassar um valor predeterminado, ele impede a ativação de novos terminais, até que o índice volte abaixo daquele

valor.

5.5. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO.

5.5.1. PROCESSO DE CONEXÃO EM UMA CHAMADA ORIGINADA NO CONCENTRADOR.

Quando um usuário retira o monofone do gancho, é reconhecido pelo respectivo SLIC e este informa a mudança de estado ao controlador central, com a identificação do terminal.

Este, por sua vez, verifica se não há excesso de tráfego, dado pelo índice de freezeout. Se houver, comanda o SLIC para enviar tom de ocupado ao assinante. Caso contrário, monta um envelope tendo no cabeçalho o endereço do controlador central da outra unidade (central), com a informação CA de conexão. No espaço reservado a informação é enviado o número do terminal, além da informação de solicitação de linha.

O controlador da unidade central, identificando o envelope como endereçado a si, faz a leitura da informação e aciona o correspondente circuito para a conexão com a central de comutação. O tom de discar (425 hz) é enviado pela central para a unidade distante, já com o endereçamento do assinante.

Com isto, o usuário disca o número do terminal destino, e as informações são enviadas a unidade central, acomodadas na área de informação

do envelope.

O tom de controle é enviado ao assinante chamador pelo mesmo processo e quando o assinante chamado atende, a central informa a unidade distante, mudando o conteúdo de CA para "conversaçoão".

Na fase de conexão, o conteúdo de CA = conexão dá prioridade sobre a conversaçoão, para que não haja erros no processo de estabelecimento de chamadas.

5.5.2. FASE DE CONVERSAÇÃO.

Nesta fase, os envelopes são enviados e recebidos, desde que o conteúdo seja identificado como sendo voz pelo detector de voz.

É a etapa sujeita a perdas de envelopes, devido a freezeout, mas o mecanismo de controle deve manter o índice dentro do aceitável.

5.5.3. PROCESSO DE DESCONEXÃO DE UMA CHAMADA ORIGINADA NO CONCENTRADOR.

A desconexão pode ser feita tanto pelo assinante que originou a chamada como pelo que recebeu a chamada.

a. Desconexão pelo assinante que originou a chamada (concentrador).

O SLIC informa a desconexão do assinante ao controlador central e este organiza um envelope com o endereço do controlador da unidade central e insere a informação de desconexão e o número do circuito que está sendo desconectado.

Com esta informação, o controlador central comanda a desconexão da central.

b. Desconexão pelo assinante chamado.

Neste caso, pelo padrão adotado no Brasil, os enlaces ficam ainda retidos com uma temporização de 90 ± 30 s. Após esta temporização, a unidade central envia um envelope ao controlador da unidade distante com a informação de desconexão do circuito correspondente.

O controlador da unidade distante comanda o SLIC para conectar o tom de ocupado e também envia um envelope ao outro controlador informando a desconexão.

5.5.4. PROCESSO DE CONEXÃO DE UMA CHAMADA TERMINADA NO CONCENTRADOR.

A unidade central, ao reconhecer uma chamada terminada, organiza um envelope destinado ao concentrador da unidade distante informando CA = conexão e o número do circuito que corresponde ao terminal chamado. Com isto, o controlador da unidade distante comanda o envio da corrente de toque ao assinante chamado.

O SLIC, ao reconhecer o atendimento, informa ao controlador central e este envia um envelope ao controlador da unidade central, com CA = conversação.

Se o assinante não atender, a corrente de toque cessa após a temporização e o controlador da unidade central envia um envelope dando a condição de desconexão. Com isto, a corrente de toque é retirada e volta a condição inicial.

5.5.5. DESCONEXÃO DE UMA CHAMADA TERMINADA NO CONCENTRADOR.

Se o assinante chamado (do concentrador) desligar primeiro, é organizado um envelope e enviado a unidade central informando a desconexão. Se o assinante chamado reatender a chamada (antes que o chamador tenha desligado e que a temporização ainda não tenha vencida), é enviado um novo envelope dando a condição de conexão, e a unidade central mantém a ligação.

Se o assinante chamador desligar primeiro, a central enviará o tom de ocupado ao assinante chamado, até o seu desligamento.

5.6. CONCLUSÕES.

Neste capítulo foi apresentada uma proposta de implementação do concentrador telefônico com interpolação digital, com sinais de voz formatados como pacote simplificado.

Foram apresentados os principais órgãos do concentrador e também o princípio de funcionamento.

CAPÍTULO 6

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE VOZ

6.1. INTRODUÇÃO.

No capítulo 4 chegou-se a uma organização do envelope que associa a eficiência e o atraso na comunicação de forma adequada, sendo o resumo da composição apresentado na tabela 6.1.

bits/env	cab.(bits)	inf.(bits)	Efe	usuár.	atraso (ms)
512	24	488	0,953	30	15,125

Tabela 6.1 - Resumo da organização do envelope.

A coluna de usuários significa o número máximo de usuários em conversação no concentrador, sem que ocorra a perda de envelopes (freezeout), isto é, com 30 seria a mesma situação do sistema PCM/TDM convencional.

No caso da interpolação digital, entretanto, existe a possibilidade de ativação de mais usuários, desde que se aceite uma certa degradação

na qualidade de voz, por perdas de envelopes devido a congestionamentos instantâneos (freezeout).

O parâmetro a ser utilizado na análise da qualidade de voz com interpolação digital é a fração de freezeout, definida como sendo a relação entre o comprimento médio das perdas e o comprimento médio dos surtos de voz.

As experiências subjetivas realizadas [3] mostram que frações de freezeout de 0,1 % são quase imperceptíveis mesmo para um ouvinte crítico. Um valor de 0,5 % pode ser notado por um ouvinte crítico mas não incomoda a um ouvinte médio interessado em entender a mensagem. Um valor de 2 % já seria algo incômodo e valores de 5 % a 10 % seriam definitivamente contestáveis.

Para que se tenha uma estimativa do número de usuários ativos levando em consideração o compromisso com a fração de freezeout, é feito a seguir, o estudo teórico com modelos matemáticos para a avaliação do desempenho de voz com interpolação digital, sob dois esquemas de controle de freezeout:

- O envelope não transmitido é perdido.
- O envelope não transmitido espera por um período curto, sendo perdido se ocorrer a ultrapassagem deste tempo.

6.2. PROBABILIDADE DE USUÁRIOS ATIVOS.

Supondo que existem $n-1$ fontes independentes de voz, cada uma com atividade média p , competindo com uma chamada de teste ($n =$ número total de fontes), sendo c a capacidade de envelopes de um quadro, a probabilidade de que o número de fontes simultaneamente ativas seja maior ou igual que c ($c \leq n-1$), para um determinado instante, é dada pela distribuição binomial acumulada ([3] e [10]):

$$B(c, n-1, p) = \sum_{x=c}^{n-1} \binom{n-1}{x} p^x (1-p)^{n-1-x} \quad (6.1)$$

6.3. ESQUEMA DE PERDA DE ENVELOPE SEM ARMAZENAMENTO.

Este esquema considera que um envelope é perdido imediatamente, se não encontrar um canal livre no quadro para ser transmitido.

O efeito provocado é a perda na parte inicial do surto de voz, até que um canal livre seja encontrado.

A transmissão de um surto de voz, uma vez alocado em um canal, é garantido até o seu final, de acordo com a estratégia de administração

de canais discutida no capítulo 5.

6.3.1. MODELO MATEMÁTICO.

Para este esquema, partindo-se da equação 6.1, demonstra-se que a fração de freezeout é dada por [10]:

$$FI = \frac{1}{np} \sum_{k=c+1}^n (k-c) b(k,n,p) \quad (6.2)$$

$$\text{Onde } b(k,n,p) = \binom{n}{k} p^k (1-p)^{n-k} \quad (6.3)$$

6.3.2. RESULTADOS.

Efetuada os cálculos para envelopes de 512 bits ($c=30$) com os parâmetros de atividade média variando de 0,3 a 0,5 e n variando de 40 a 100, obtém-se os gráficos da Fig. 6.1.

Tomando por exemplo a fração de freezeout de 0,1%, cuja degradação de voz seria praticamente imperceptível, mesmo para ouvintes mais críticos [3], obtém-se os seguintes resultados de canalizações equivalentes (usuários ativos) e os respectivos ganhos de transmissão, comparados com o sistema sem freezeout, isto é, 30 canais.

p	canaliz. equiv.	ganho de transmissão
0,30	71	2,4
0,35	62	2,1
0,40	55	1,8
0,45	50	1,7
0,50	46	1,5

Tabela 6.1 - Canalização equivalente e ganho de transmissão para FI = 0,1%

Portanto, assumindo uma degradação aceitável, este esquema possibilita um ganho significativo na eficiência de utilização dos meios de transmissão.

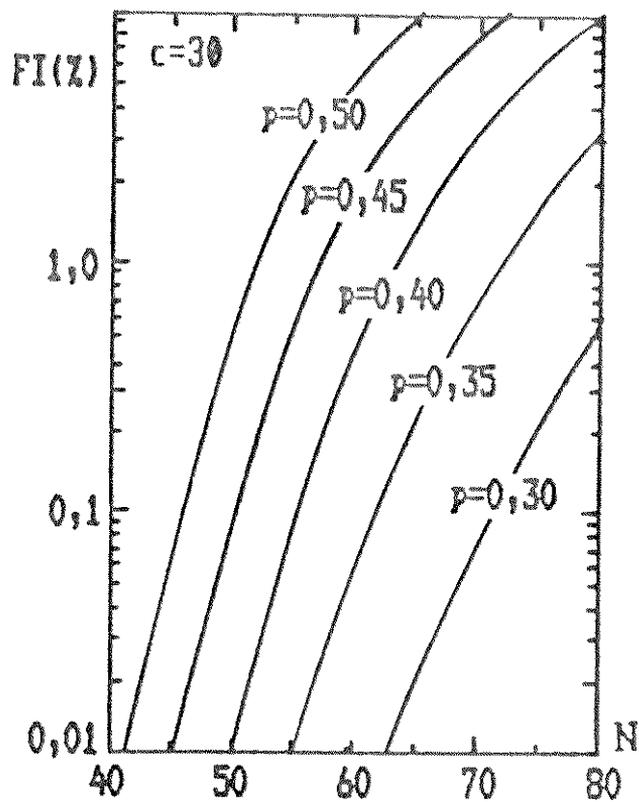


Figura 6.1 - Fração de freezeout - esquema sem armazenamento.

6.4. ESQUEMA DE ARMAZENAMENTO TEMPORÁRIO DO ENVELOPE.

Neste esquema, um envelope (com sinal de voz) é armazenado temporariamente, se não encontrar um canal livre.

O tempo de armazenamento é curto para não utilizar grandes memórias e, também, armazenamentos longos provocam atrasos que resultam em desagradáveis efeitos psicológicos.

Vencido este tempo, o envelope é perdido, resultando em corte na parte inicial do surto de voz.

6.4.1. MODELO MATEMÁTICO.

Neste caso, uma aproximação utilizada no modelo matemático é não considerar a possibilidade de que possa existir mais do que um surto de voz da mesma fonte sendo armazenadas.

Cada fonte alterna aleatoriamente os intervalos de surtos de voz e pausas com a função de densidade na forma [12]:

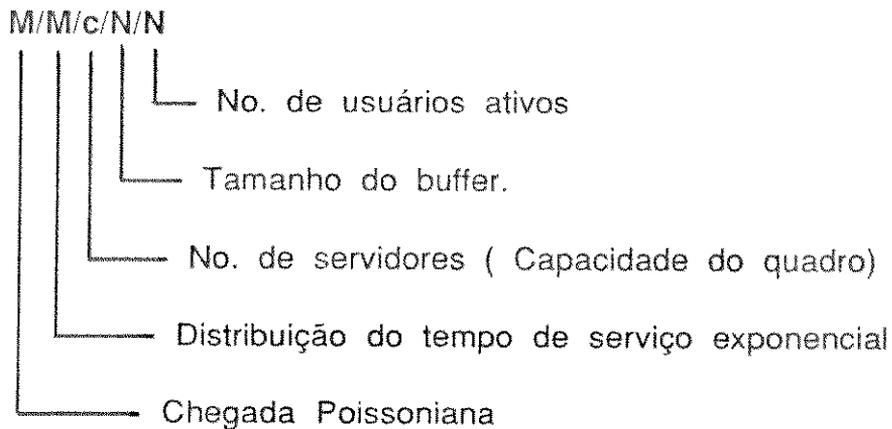
$$P_s = \frac{1}{T_s} e^{-(t/T_s)} \quad (6.4)$$

$$P_p = \frac{1}{T_p} e^{-(t/T_p)} \quad (6.5)$$

Onde T_s e T_p são os tempos médios de surtos de voz e pausas respectivamente. A atividade média é definida como:

$$p = \frac{T_s}{T_s + T_p} \quad (6.6)$$

Portanto, o modelo de fila a ser empregado é do tipo:



Para este tipo de fila, a probabilidade de existirem k surtos no sistema (em serviço ou em espera) é dada por [17]:

$$P_k[N] = \begin{cases} \binom{N}{k} \gamma^k P_0[N] & 0 \leq k < c \\ \frac{N!}{(N-k)! c! c^{k-c}} \gamma^k P_0[N] & c \leq k < N \end{cases} \quad (6.7)$$

$$\frac{N!}{(N-k)! c! c^{k-c}} \gamma^k P_0[N] \quad c \leq k < N \quad (6.8)$$

Onde $\gamma = \frac{\rho}{1 - \rho}$ (6.9)

E $P_0[N]^{-1} = \sum_{k=0}^c \binom{N}{k} \gamma^k + \sum_{k=c+1}^N \frac{N! \gamma^k}{(N-k)! c! c^{k-c}}$ (6.10)

A probabilidade de que um surto de voz que chega encontre k surtos no sistema é dada por [12]:

$$Q_k[N] = P_k[N-1] \quad (6.11)$$

A probabilidade de que o tempo de espera de surto no buffer seja maior que t pode ser obtida pelo Teorema da probabilidade total, como sendo:

$$P[D > t] = \sum_{k=0}^{N-1} P[D > t | E_k] Q_k[N] = \sum_{k=0}^{N-c-1} P[D > t | E_{k+c}] Q_{k+c}[N] \quad (6.12)$$

Onde $P[D > t | E_k]$ é a probabilidade condicional de que o surto

espere mais do que t, dado que ele encontra o sistema no estado Ek.

Para este tipo de fila pode ser mostrado que [13]:

$$P(D > t | E_{k+c}) = e^{-cZ} \sum_{j=0}^k \frac{(cZ)^j}{j!}, \quad Z = t/Ts \quad (6.13)$$

Portanto:

$$P(D > t) = e^{-cZ} \frac{(N-1)!}{c!} Po[N-1] \sum_{k=0}^{N-c-1} \frac{Z^{k+c}}{(N-1-k-c)! c^k} \sum_{j=0}^k \frac{(cZ)^j}{j!} \quad (6.14)$$

Considerando o esquema em que o tempo de espera no buffer é pequeno (Tmax) e aqueles envelopes com o tempo vencido são descartados, o tamanho do buffer será finito e dependente do tempo de espera estipulado.

Nestas condições, a probabilidade de freezeout maior que t é dada por:

$$P[\text{freezeout} > t] = P[D > t + T_{\max}] = \quad (6.15)$$

$$= e^{-\frac{c}{T_s} T_{\max}} \frac{(N-1)!}{c!} P_0[N-1] \sum_{K=0}^{N-c-1} \frac{\gamma^{k+c}}{(N-1-k-c)! c^k} \sum_{j=0}^k \frac{(c/T_s)^j e^{-c t/T_s} e^{-j[t+T_{\max}]}}{j!}$$

E a probabilidade de ocorrência de freezeout é dada por:

$$P[D > T_{\max}] = e^{-\frac{c T_{\max}}{T_s}} \frac{(N-1)!}{c!} P_0[N-1] \sum_{K=0}^{N-c-1} \frac{\gamma^{k+c}}{(N-1-k-c)! c^k} \sum_{j=0}^k \frac{(c T_{\max}/T_s)^j}{j!} \quad (6.16)$$

Considerando que $P[\text{freezeout} \leq t] = 1 - P[\text{freezeout} > t]$, a sua função de densidade de probabilidade é dada por:

$$p(t) = -\frac{d}{dt} P[\text{freezeout} > t] \quad (6.17)$$

O freezeout médio pode ser obtido por:

$$\begin{aligned} \bar{f} &= \int_0^{\infty} t p(t) dt = - \int_0^{\infty} t dP[\text{freezeout} > t] = \\ &= \left[-t P[\text{freezeout} > t] \right]_0^{\infty} + \int_0^{\infty} P[\text{freezeout} > t] dt = \int_0^{\infty} P[\text{freezeout} > t] dt \end{aligned} \quad (6.18)$$

$$\bar{f} = e^{-cT_{\max}/T_s} \frac{(N-1)!}{c!} \text{Po}[N-1] \sum_{k=0}^{N-c-1} \frac{\gamma^{k+c}}{(N-1-k-c)! c^k} \sum_{j=0}^k \frac{(c/T_s)^j}{j!} \int_0^{\infty} e^{-(ct/T_s)(t+T_{\max})^j} dt$$

Considerando que $[t + T_{\max}]^j = \sum_{m=0}^j \binom{j}{m} t^m T_{\max}^{j-m}$

e fazendo uso da solução da integral [14]:

$$\int_0^{\infty} x^n e^{-ax} dx = \frac{\Gamma(n+1)}{a^{n+1}} = \frac{n!}{a^{n+1}} \quad (6.19)$$

Obtém-se que: (6.20)

$$\bar{f} = e^{-cT_{\max}/T_s} \frac{(N-1)!}{c!} \text{Po}[N-1] \sum_{k=0}^{N-c-1} \frac{\gamma^{k+c}}{(N-1-k-c)! c^k} \sum_{j=0}^k \frac{(c/T_s)^{j-1}}{(j-n)! (c/T_s)^n} \sum_{n=0}^j \frac{T_{\max}^{j-n}}{(j-n)! (c/T_s)^n}$$

Onde:
$$\text{Po}[N-1] = \sum_{k=0}^c \binom{N-1}{k} \gamma^k + \sum_{k=c+1}^{N-1} \frac{(N-1)! \gamma^k}{(N-k-1)! c! c^{k-c}} \quad (6.21)$$

Finalmente, a expressão da fração de freezeout pode ser obtida por:

$$\text{Flbuf} = \frac{\bar{f}}{T_s} \quad (6.22)$$

Esta expressão é, na realidade, uma aproximação da fração de

freezeout, uma vez que:

- a. A expressão 6.15 é a expressão do atraso maior que T_{max} ;
- b. A expressão 6.20 é a expressão do comprimento médio do atraso após a espera por T_{max} ;
- c. Estas expressões não incorporam o freezeout, que é a perda de parte do surto de voz provocada por falta de meio de transmissão, isto é, o freezeout resulta em "encurtamento" do surto, ou seja, resulta em atividade média menor por falta de meios.

Entretanto, considerando que para baixa taxa de ocorrência de freezeout a variação da atividade média é pequena, esta expressão é utilizada para a obtenção da fração de freezeout, sendo que o erro provocado pela aproximação será quantizado por simulação no Capítulo 7.

6.4.2. RESULTADOS.

Efetuada os cálculos computacionais da equação 6.22, com os parâmetros abaixo descritos, obtém-se os gráficos da figura 6.2.

Os parâmetros utilizados foram:

- . p (atividade média) = 0,30 a 0,50 em passos de 0,05
- . T_s (comprimento médio dos surtos de voz) = 1,2 s

- . T_{max} (tempo máximo de armazenamento) = 0,2 s
- . c (número de canais por quadro) = 30
- . N (número de usuários ativos) = 40 a 100 em passos de 4
- . Tamanho do envelope = 512 bits

A partir da figura 6.2 obtém-se que as canalizações equivalentes e os respectivos ganhos de transmissão, também para a fração de freezeout de 0,1%, são:

p	canaliz. equiv.	ganho de transmissão
0,30	78	2,6
0,35	68	2,3
0,40	62	2,1
0,45	56	1,9
0,50	52	1,7

Tabela 6.2 - Canalização equivalente e ganho de transmissão com $FI = 0,1\%$ para o esquema de armazenamento temporário de voz.

Portanto, o armazenamento de voz, mesmo para tempo curto, produz resultados significativos na redução da fração de freezeout, possibilitando um ganho maior de transmissão para a mesma fração de freezeout, comparado com o esquema sem armazenamento.

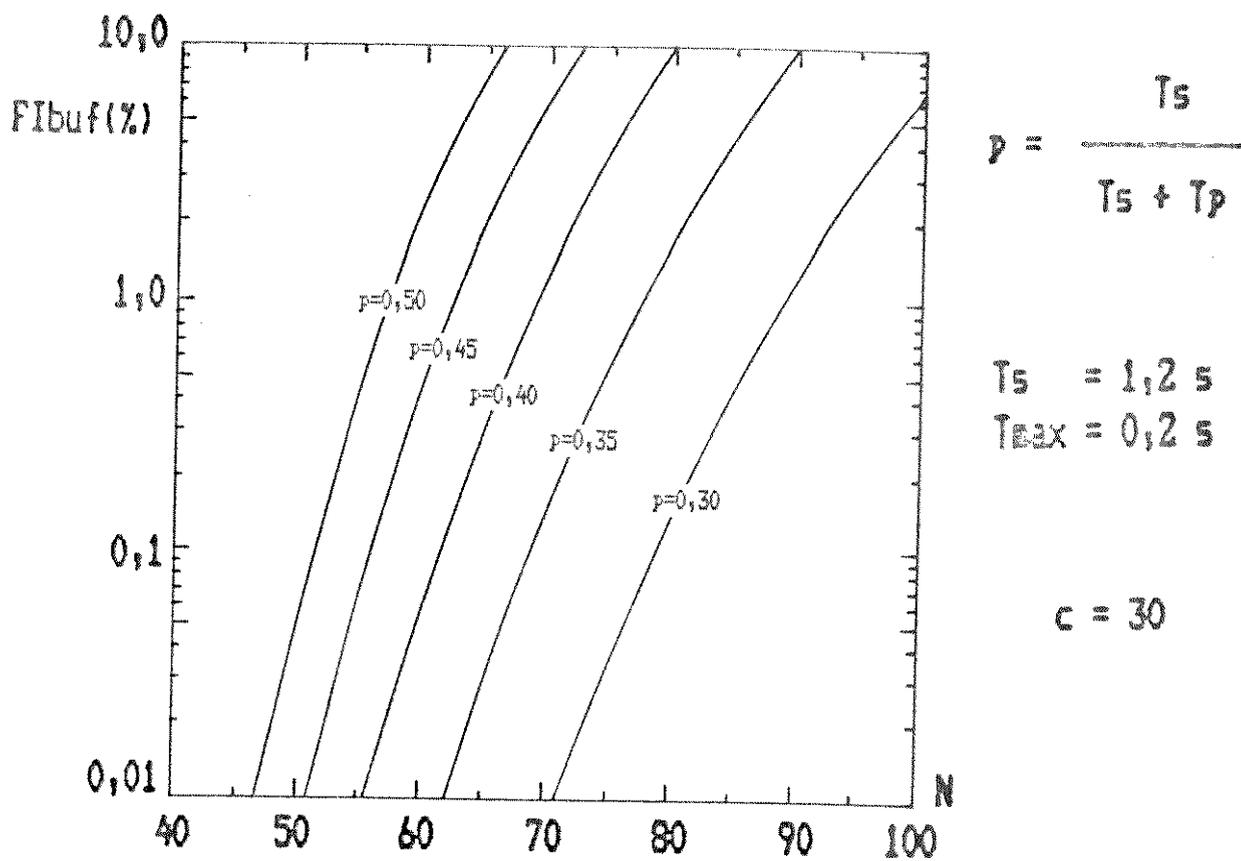


Figura 6.2 - Fração de freezeout - esquema com armazenamento temporário.

6.5. CONCLUSÕES.

Neste capítulo foram analisadas duas estratégias (com e sem armazenamento) para o tratamento de perdas de informação (freezeout), através de modelos matemáticos, obtendo-se os resultados teóricos de qualidade e ganho na eficiência de transmissão.

Tomando como exemplo a fração de 0,1%, que seria praticamente imperceptível, mesmo para os ouvintes mais críticos, e tomando a atividade média de 0,35, foi demonstrado que o ganho de transmissão é de 2,1 para o esquema de perda imediata do envelope em caso de congestionamento.

Para o caso do esquema de armazenamento temporário do envelope, estes mesmos parâmetros levam a um ganho de 2,3, demonstrando um melhor desempenho.

Portanto, foi demonstrado que o esquema de interpolação digital de voz possibilita obter um ganho significativo na eficiência de transmissão, se for permitida uma degradação (freezeout) quase imperceptível na qualidade de voz.

CAPÍTULO 7

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE VOZ POR SIMULAÇÕES

7.1. INTRODUÇÃO.

No capítulo 6 foi feita a análise teórica do esquema de multiplexação estatística de voz através de modelos matemáticos, tendo como parâmetros o atraso e a perda parcial de voz, sob duas estratégias de administração de congestionamento instantâneo (freezeout): a de perda sem armazenamento e a de perda após o armazenamento temporário de voz.

Neste capítulo é feita a análise comparativa dos resultados analíticos do capítulo 6 com resultados de simulações obtidos por métodos computacionais, utilizando-se dos mesmos parâmetros.

O objetivo deste estudo comparativo de resultados obtidos por diferentes métodos é a validação destes resultados, isto é, que as conclusões do presente trabalho sejam fundamentadas nos resultados obtidos pelos dois métodos.

7.2. ALGORITMOS DE SIMULAÇÃO.

As simulações foram efetuadas de modo a representar as conversações telefônicas normais, isto é, geração de períodos de surtos de voz alternados com períodos de silêncio, armazenando as ocorrências de congestionamento (freezeout), mantendo-se os seguintes parâmetros sob controle:

- . Número de canais por quadro $c = 30$;
- . Tempo médio de voz $T_s = 1,2$ s;
- . Atividade média $p = 0,3$ a $0,5$ em passos de $0,05$;
- . Número de usuários ativos $N = 40$ a 100 em passos de 4 ;
- . Tempo de observação: 650 s em passos de $0,01$ s, sendo que os primeiros 150 s foram desprezados em função da estabilização do processo aleatório.

O intervalo de tempo de cada observação ($0,01$ s) foi escolhido associando-se o compromisso de reduzir o erro introduzido devido a discretização do tempo e o tempo gasto para a simulação, sendo que o tempo de observação de 650 s equivaleu a 65.000 observações para cada ponto (um par p e N).

- . Para o caso do esquema com armazenamento foi usado o tempo máximo de armazenamento $T_{max} = 0,2$ s

As variações de p (de $0,3$ a $0,5$ em passos de $0,05$) e N (de 40 a 100 para cada p) foram escolhidas para que os pontos resultantes pudessem

ser diretamente desenhados na figura 6.2 para comparação, isto é, a simulação teve como resultados as curvas Fração de Freezeout X N, tendo p como parâmetro.

Considerando que a simulação é um processo estocástico e, portanto, o resultado (fração de freezeout) é uma variável aleatória, foram efetuadas, para cada ponto da curva, 11 simulações para se obter a média com 95% de confiança e 10 graus de liberdade, utilizando-se da distribuição de Student.

O esquema geral de simulação é o apresentado na figura 7.1, sendo o processo descrito a seguir:

a. Algoritmo de simulação.

a.1. N significa o número de usuários ativos, isto é, para cada simulação é atribuído um valor de N e um parâmetro p para a obtenção da fração de Freezeout, sendo os usuários observados por 650 s.

a.2. O traço significa que existe surto de voz com duração exponencial e média T_s .

a.3. A ausência de traço significa silêncio com duração exponencial e média T_p .

a.4. As relações entre T_s , T_p e p são dadas pela expressão 6.6.

- a.5. Os comprimentos de voz e silêncio da figura 7.1 são ilustrativos, não representando nenhum caso particular da simulação.
- a.6. A escala de tempo representa a observação pontual, isto é, representa os tempos discretizados utilizados para a leitura de um estado.
- a.7. Para cada instante de observação é feita a soma de surtos existentes e comparada com o número de canais disponíveis ($c = 30$). Se a soma de surtos for maior que c , é registrada uma perda de 0,01 s, para o caso em que não há armazenamento de voz. Para o caso de armazenamento de voz é registrada uma perda se ocorrer a ultrapassagem de 0,2 s de armazenamento, o que representa 20 intervalos de tempo.
- Para obter o resultado de Fração de Freezeout de um par p e N são efetuadas 65.000 operações de soma por coluna de tempo.

b. Principais passos do programa.

- b.1. Geração de surtos de voz exponencialmente distribuídos através da fórmula [16]:

$$T_v = - T_s * \ln(\text{RND}(1))$$

Onde:

T_v = comprimento do surto de voz

T_s = comprimento médio dos surtos de voz (1,2 s)

$\ln(\)$ = logaritmo neperiano

$RND(1)$ = número entre 0 e 1, obtido através do gerador pseudo-randômico uniformemente distribuído

b.2. Geração dos tempos de silêncio através da fórmula:

$$T_a = \frac{- (1 - p)}{p} * T_s * \ln(RND(1))$$

Onde:

T_a = comprimento do silêncio (ausência de sinal)

p = atividade média

b.3. Para cada intervalo de observação efetuar a somatória de presença de voz (S_i) e a somatória de ocorrência de perda ($F_{li} = S_i - c$ se $S_i > c$)

b.4. Ao final da observação realizar o cálculo da fração de freezeout:

$$FI = \frac{\text{somatória de } F_{li}}{\text{somatória de } S_i}$$

b.5. Repetir o processo 11 vezes para obter a média de fração de freezeout (FI) com 95% de confiança e 10 graus de liberdade, para cada valor de N.

b.6. Repetir o processo para cada valor de atividade média

b.7. Para o caso de esquema com armazenamento temporário foi adicionado o algoritmo de armazenamento de surto de voz e a contagem da perda efetuada após o vencimento de 0,2 s de armazenamento.

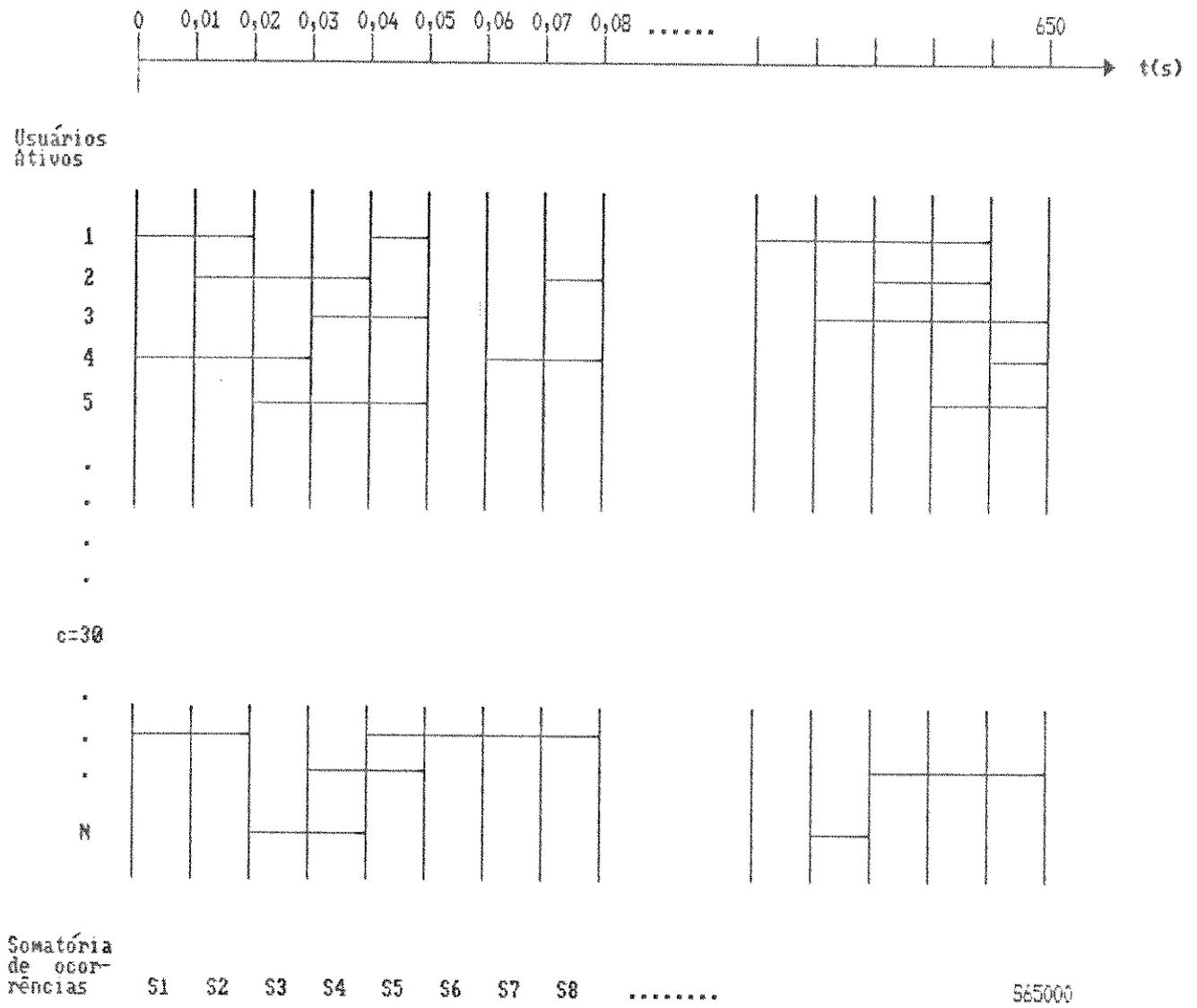


Figura 7.1 - Esquema geral de simulação

7.3. RESULTADOS.

Os resultados obtidos, com as duas estratégias de tratamento de perdas (freezeout), sem armazenamento e com armazenamento temporário, são os constantes das figuras 7.2 e 7.3, respectivamente, juntamente com os resultados de modelos matemáticos obtidos no capítulo 6.

Na figura 7.2 pode-se observar a estreita aproximação entre os resultados do modelo matemático e da simulação, validando os ganhos de ocupação de canais obtidos no capítulo 6, para o caso do esquema sem armazenamento temporário.

Pela figura 7.3 comprova-se que a expressão 6.22 é uma aproximação, conforme comentado no final do item 6.4.1, e representa uma razoável aproximação para baixos valores de Fração de Freezeout (Fibuf). Para a faixa de interesse do presente estudo, Fibuf da ordem de 0,1%, os resultados são da mesma ordem de grandeza, podendo a expressão 6.22 ser utilizada como meio de economizar o tempo de computação. Para valores de Fibuf superiores a 1,0% nota-se um rápido afastamento entre os valores do modelo matemático e simulação, provocada pela efetiva perda parcial de voz na simulação, sendo que o resultado do modelo matemático é mais pessimista que o de simulação.

Com a finalidade de comprovar estas conclusões foi feita uma nova

rodada de simulação alterando-se o algoritmo de perda, isto é, foi obtido o tempo médio de espera após T_{max} , sem introduzir a perda de sinal, que é o que representa a expressão 6.22.

O resultado obtido é apresentado na figura 7.4 e, neste caso, obteve-se a estreita aproximação entre os valores do modelo matemático e simulação, em toda a extensão dos parâmetros de interesse.

7.4. CONCLUSÕES.

A figura 7.2 mostra que o modelo matemático representa o exato comportamento para o caso de freezeout sem armazenamento e as conclusões do Capítulo 6 são confirmadas pelo uso de simulação.

A figura 7.3 mostra que o modelo matemático é uma aproximação razoável para a região de 0,1% de Flbuf, sendo que os resultados são melhores que os obtidos no capítulo 6.

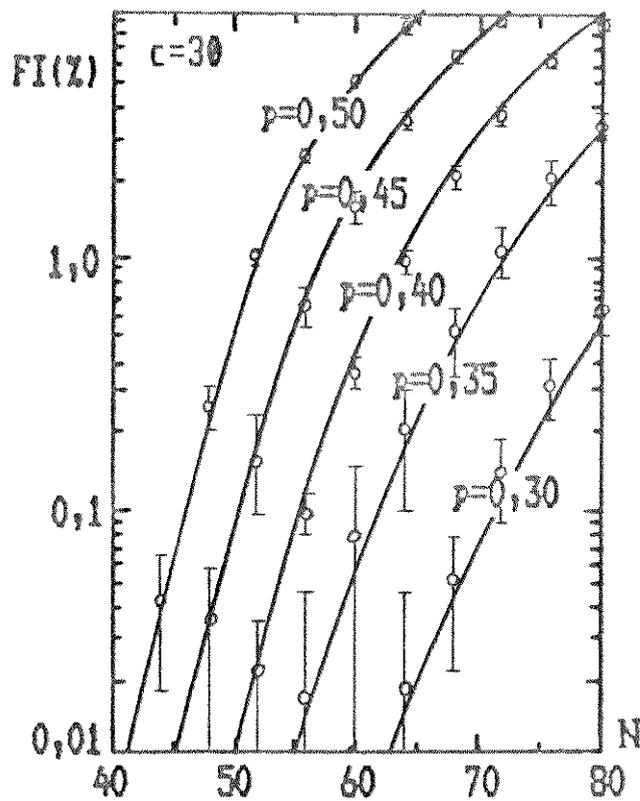


Figura 7.2 - Fração de freezeout - esquema sem armazenamento.
 Resultados de modelos matemáticos e simulações com 95% de confiança.

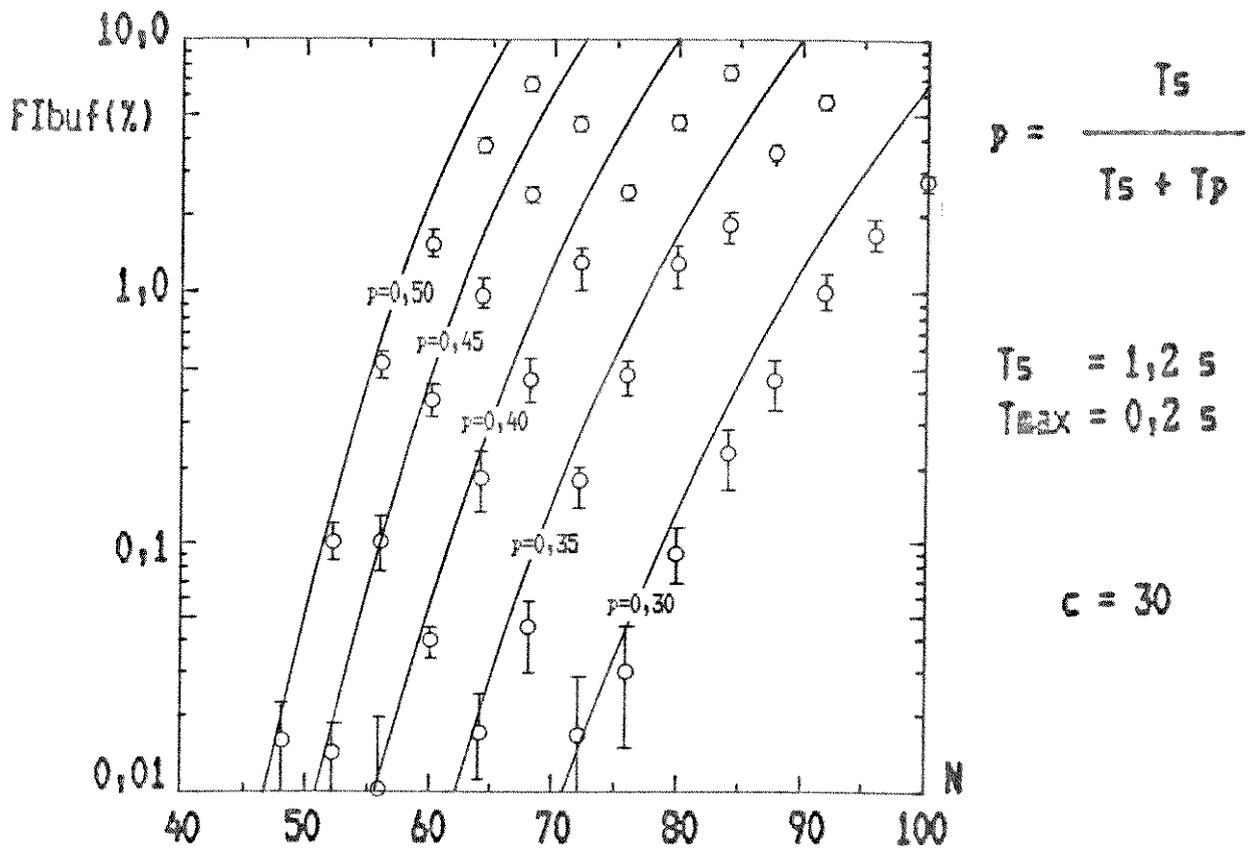


Figura 7.3 - Fração de freezeout - esquema com armazenamento.
 Resultados de modelos matemáticos e simulações com 95% de confiança.

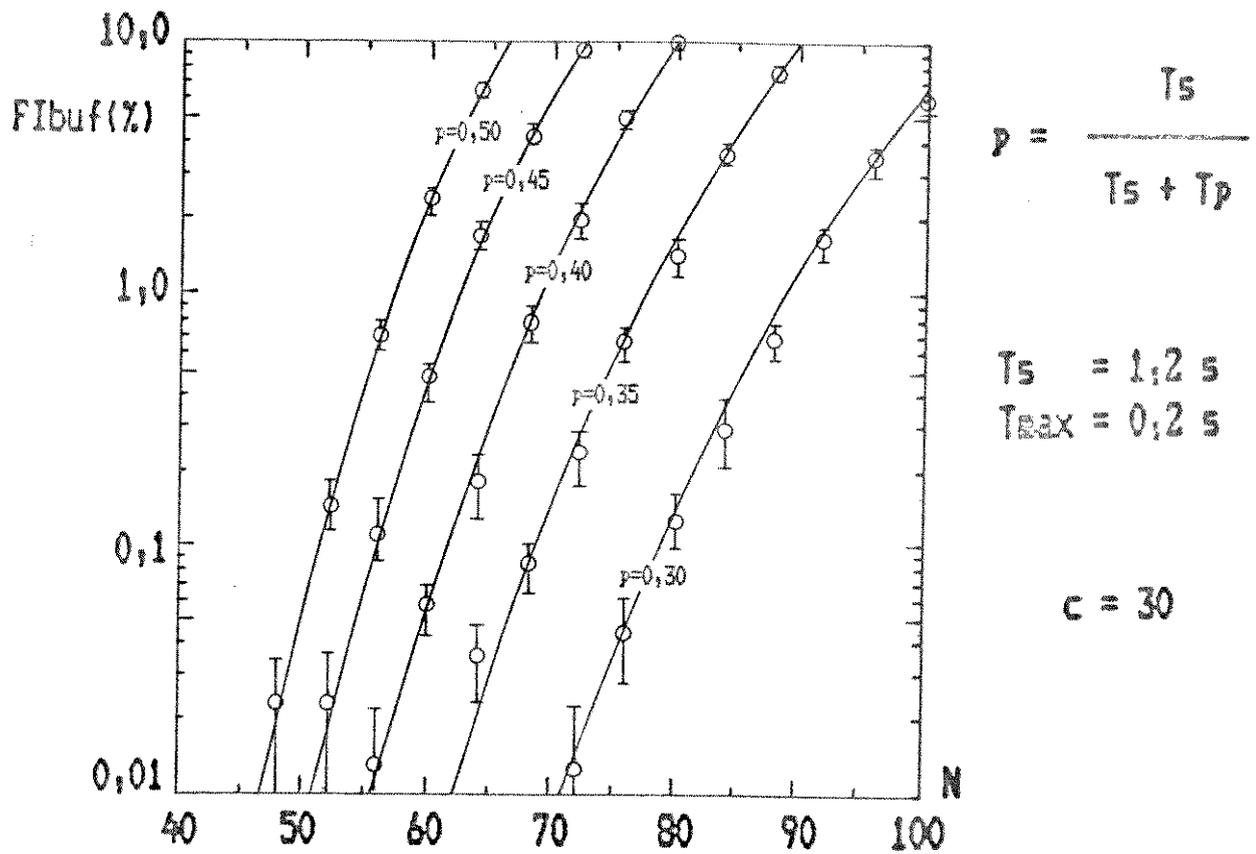


Figura 7.4 - Tempo médio de espera após o armazenamento por T_{max}. Resultados de modelos matemáticos e simulações com 95% de confiança.

CAPÍTULO 8

GANHO DE TERMINAIS

8.1. INTRODUÇÃO.

De acordo com a Teoria de Tráfego, o número de terminais no concentrador cresce, proporcionalmente, mais do que o crescimento dos meios de comunicação. Isto significa que os ganhos de terminais são ainda maiores que os ganhos dos meios de comunicação obtidos nos capítulos anteriores.

8.2. GANHO DE TERMINAIS.

Pela utilização de tabelas de tráfego [15], obtém-se a relação dos ganhos de terminais, para valores típicos de tráfego, tendo c , p e F_I como parâmetros.

Utilizando os valores de tráfego e de perda considerados no projeto do TROPICO C [1] para a Hora de Maior Movimento (HMM), isto é:

Tráfego $A = 0,1$ Erl por terminal.

Perda $B = 1 \%$ (probabilidade de um assinante tentar originar uma chamada e não obter meios)

Observação: A capacidade de tráfego do TROPICO C é de 20 Erl, que resultaria em 200 terminais. Mas por motivos de numeração (múltiplos de 16 assinantes por placa de terminais), a capacidade de terminais é de 192.

Para o cálculo do ganho de terminais abaixo é utilizado o valor teórico de 200.

E tomando os valores obtidos no capítulo 6, para fração de freezeout $FI = 0,1\%$ e número de canais por quadro $c = 30$, obtém-se:

8.2.1. ESQUEMA DE PERDA SEM ARMAZENAMENTO.

p	CE	Gtr	At(Erl)	Terminais	Gta
0,30	71	2,4	57,0	570	2,85
0,35	62	2,1	48,8	488	2,44
0,40	55	1,8	42,4	424	2,12
0,45	50	1,7	37,9	379	1,90
0,50	46	1,5	34,3	343	1,72

Tabela 8.1.

Onde:

p = atividade média

CE = canalização equivalente

Gtr = ganho do meio de transmissão

At = tráfego total

Gta = ganho do número de terminais

8.2.2. ESQUEMA DE PERDA DE ENVELOPE COM ARMAZENAMENTO.

p	CE	Gtr	At(Erl)	Terminais	Gta
0,30	78	2,6	63,5	635	3,18
0,35	68	2,3	54,3	543	2,72
0,40	62	2,1	48,8	488	2,44
0,45	56	1,9	43,3	433	2,17
0,50	52	1,7	39,7	397	1,99

Tabela 8.2.

8.3. CONCLUSÕES.

Com base nos resultados da teoria de tráfego, foi mostrado que o esquema de interpolação digital de envelope resulta em ganho de terminais maior ainda que o ganho dos meios de transmissão.

Tomando como exemplo a atividade média de 0,35, cujo ganho de transmissão é 2,1, o ganho do número de terminais é 2,44 para o caso

do esquema de perda de envelope sem armazenamento.

Para o esquema de perda de envelope com armazenamento temporário, com ganho de transmissão de 2,3, o ganho de terminais é de 2,72.

Portanto, o número de terminais do concentrador poderia ser aumentado significativamente, sem aumentar o meio de transmissão correspondente.

CAPÍTULO 9

CONCLUSÕES

Neste trabalho foi proposto um esquema de interpolação digital de voz, com formatação dos sinais de voz do tipo pacote simplificado (envelope), para aplicação em concentrador telefônico ou estágio remoto de uma central, tendo como resultados o aumento da eficiência dos meios de transmissão e, como consequência, o aumento também do número de terminais do concentrador.

A estrutura e o tamanho do envelope são fatores relevantes para o sistema proposto, uma vez que deles resultam a eficiência de ocupação do quadro e atraso na voz, além de influenciar diretamente na estrutura de implementação do concentrador. Estes fatores foram discutidos, resultando em um formato adequado do envelope, que associa a eficiência de ocupação do quadro em relação ao atraso de voz.

O esquema pode apresentar uma degradação do sinal de voz, como a perda na parte inicial de um surto de voz (freezeout) em caso de congestionamento, sendo que foram estudadas duas estratégias de administração desta degradação, conforme segue:

- . Perda imediata de envelope, sem armazenamento
- . Perda do envelope após armazenamento temporário.

Foi demonstrado, através de modelos matemáticos e também por simulações em computador, que o esquema de interpolação digital conforme proposto pode apresentar um ganho significativo na utilização do meio de transmissão, com degradação quase imperceptível, mesmo para ouvintes mais críticos.

Através da teoria de tráfego, concluiu-se que o ganho na utilização do meio de transmissão resulta em um ganho ainda maior no número de terminais que pode ser instalado no concentrador, o que leva a redução do custo por terminal do concentrador.

Foi apresentada uma estrutura de concentrador telefônico capaz de realizar a interpolação digital, com os seus componentes básicos e descrição funcional, concluindo-se que a implementação é factível.

Naturalmente, comparado com o sistema convencional, este concentrador apresenta uma maior complexidade de implementação, devido a necessidade de detector de voz eficiente, montagem e desmontagem de envelopes e da administração de freezeout. Entretanto, o avanço tecnológico de componentes, tais como processadores e memórias de alta capacidade e componentes dedicados de baixo custo, torna o projeto exequí-

vel.

Embora o modelo de estudo deste trabalho seja o concentrador telefônico, o esquema pesquisado tem diversas aplicações, inclusive futuras, onde a disponibilidade do meio de transmissão seja crítica.

Como exemplo, pode-se citar a telefonia móvel rádio celular, que tem um número limitado de canais por célula, devido a restrições no espectro de frequência.

O sistema móvel rádio celular é viabilizado pela repetibilidade de frequências em células relativamente próximas, pelo uso de rádios de baixa potência. Entretanto, para áreas de alta densidade telefônica, o sistema não é viável, devido a interferências entre células.

Portanto, o esquema de interpolação digital de envelope, que aumenta a eficiência do meio de transmissão, pode ser aplicável para aumentar significativamente o número de usuários em cada célula, viabilizando a telefonia móvel rádio celular em áreas de alta densidade telefônica.

No campo da pesquisa aplicada em telecomunicações, as tendências apontam para a comutação em faixa larga de alta capacidade, possivelmente comutação fotônica, onde realmente os sinais de voz poderão conviver com os sinais de dados na forma de pacote. Mesmo nesta concepção existe a possibilidade de ocorrência de perda de sinais de voz -

freezeout - que deve ser administrada com base nos estudos estatísticos, para atender a qualidade desejada pelos usuários, que se tornam cada vez mais exigentes.

Desta forma, espera-se que este trabalho tenha uma contribuição para o momento e para o futuro, na concepção dos sistemas de telecomunicações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- [1] TROPICO C - O CONCENTRADOR DIGITAL DO SISTEMA TROPICO.
DCO/CPqD - TELEBRAS - 07/84
- [2] DETECTOR DE VOZ PARA SISTEMAS DE INTERPOLAÇÃO DIGITAL.
Tese de Mestrado em Ciências do Eng. Sindi Yamamoto.
Orientador: Prof. Dr. Fabio Violaro.
Depto. Eng. Elétrica - FEC - UNICAMP - Dez/82.
- [3] ENGINEERING ASPECTS OF TASI (TIME ASSIGNMENT SPEECH
INTERPOLATION)
K. Bullington, J.M. Fraser
The Bell System Technical Journal
Vol.38 - No. 1-6, 1959.
- [4] SIMULATION ANALYSIS OF THE WAITING TIME DISTRIBUTION
OF A PACKETIZED VOICE CONCENTRATOR.
Julio Seguel, Yoshiaki Tanaka, Minoru Akiyama.
The Transactions of The IECE of Japan,
Vol. E 65, No.2, February/1982, pp. 115 - 122.

- [5] AN ENVELOPE VOICE SYSTEM FOR SUBSCRIBER LOOP MULTIPLEXING.
Shusaburo Motoyama, Tadao Saito, Tamotsu Yamagami and
Hiroshi Inose.
The Transactions of the IECE of Japan,
Vol. E 64, No.7, July/1981, pp. 470 - 477.
- [6] A SUBSCRIBER LOOP MULTIPLEXING SYSTEM FOR INTEGRATED
SERVICE DIGITAL NETWORKS.
Shusaburo Motoyama, Tadao Saito and Hiroshi Inose.
National Telecommunication Conference 1981,
New Orleans, LA.
- [7] AN EFFICIENT PACKETIZED VOICE/DATA NETWORK USING
STATISTICAL FLOW CONTROL.
James W. Forgie and Alan G. Nemeth.
ICC'77 - Chicago, pp. 38.2-44 - 38.2-48.
- [8] SYSTEM DESIGN IMPLICATIONS OF PACKETIZED VOICE.
G.J. Coviello, O.L. Lake and G.R. Redinbo.
ICC'77 - Chicago, pp. 38.3-49 - 38.3-53.

- [9] PCM AND DIGITAL TRANSMISSION SYSTEMS.
Franck F. E. Owen
McGraw-Hill, 1982.
- [10] FRACTIONAL SPEECH LOSS AND TALKER ACTIVITY MODEL FOR TASI
AND FOR PACKET-SWITCHED SPEECH.
Clifford J. Weinstein
IEEE Transactions on Communications, Vol. COM-26, No.8,
August/1978, pp. 1253 - 1257.
- [11] ACÚSTICA.
L. X. Nepomuceno
Ed. Edgard Blucher Ltda.
São Paulo, 1977.
- [12] ANALYSIS OF A TASI SYSTEM EMPLOYING SPEECH STORAGE.
Michael S. Nakhla and David H.A. Black.
IEEE Transactions on Communications, Vol. COM-30, No.4,
April/1982, pp. 780 - 785.

- [13] INTRODUCTION TO QUEUEING THEORY.
R. Cooper.
New York, Mac Millan, 1972.
- [14] MANUAL DE FÓRMULAS E TABELAS MATEMÁTICAS.
Coleção Schaum - Mc Graw - Hill, 1973.
- [15] TEORIA DO TRÁFEGO TELEFÔNICO - TABELAS E GRÁFICOS.
Siemens AG.
Ed. Edgard Blucher Ltda.
Sao Paulo, 1975.
- [16] SYSTEM SIMULATION
Geoffrey Gordon
Prentice-Hall, Inc., 1.978.
- [17] QUEUEING SYSTEMS
Leonard Kleinrock
John Wiley & Sons, 1.975.

APRESENTAÇÃO E PUBLICAÇÃO DO AUTOR.

[1] ANÁLISE DE DESEMPENHO DE CONCENTRADOR TELEFÔNICO COM INTERPOLAÇÃO DIGITAL.

Paulo Y. Higaki, Shusaburo Motoyama.

5o. Simpósio Brasileiro de Telecomunicações - Setembro,
1987 - Campinas - SP.