

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE CAMPINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

PLANEJAMENTO DE REDES TELEFÔNICAS:
ALOCÇÃO DE CONCENTRADORES, INDICAÇÃO DE
CENTRO DE FIOS E LOCALIZAÇÃO DE ESTÁGIOS
DE LINHA REMOTOS

CASSILDA MARIA RIBEIRO

Orientador: Prof.Dr. J.F.R. Fernandes

092/85

Co-orientador: Prof.Dr. H.M.F. Tavares

*Este exemplar corresponde
à redação final da Tese defendida
Cassilda Maria Ribeiro e aprovada
pela Comissão Julgadora em
31/09/1985.*

Tese apresentada à Faculdade
de Engenharia de Campinas, da
Universidade Estadual de Cam
pinas - UNICAMP - como parte
dos requisitos exigidos para
obtenção do título de MESTRE
EM ENGENHARIA ELÉTRICA.

SETEMBRO 1985

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL



RESUMO

Dentre as etapas do planejamento telefônico de longo prazo, aqui são abordadas três delas:

A primeira etapa consiste em sugerir pontos para a implantação de novos centros de fios no horizonte de planejamento. Isto é feito através do programa NUVEM.

A segunda etapa é responsável pela localização dos estágios de linha remotos. Tal tarefa é realizada pelo programa ERAH.

A terceira etapa verifica a conveniência da instalação de concentradores na rede. Este processo é feito pelo programa PALCO DINÂMICO em interação com o Programa de Evolução de Cortes de Área (PEOR).

Experiências computacionais e resultados obtidos para as três etapas também são relatadas.

Este trabalho foi realizado através do Convênio UNICAMP/
TELEBRÁS 024A/83 e contou o apoio financeiro do CNPq .

A meus pais,
Geraldo e Margarida.

A meus irmãos,

Regina

Alzira

Helena

Tereza

Zélia

Lauro

Elza

Celina

Maitê

Toninho

Laiza

Alaíde e

Beatriz.

Ao Ferreira.

AGRADECIMENTOS

Durante a execução deste trabalho, muitas vezes me perguntava se chegaria ao fim.

A caminhada foi longa e árdua, mas só foi possível porque pude contar com a ajuda de pessoas que não hesitaram. Dentre elas é necessário destacar Ferreira, por ter feito comigo esta caminhada, fornecendo a todo instante, carinho, amizade e amor.

A Jurandir e Hermano, pelo trabalho de dedicada orientação, paciência e amizade.

Durante as muitas crises de desânimos, pelas quais fui acometida, sempre pude contar com Flávio, Carlos, Nakagawa, Renato e Akebo. A estas pessoas só posso dizer o meu mais sincero muito obrigada. Obrigada pelo carinho, amizade, convivência, estímulo e ajuda que me foi dada sem hesitação, em todos os momentos que necessitei.

Não posso deixar de fazer um agradecimento especial a Secundino, pela amizade e agradável convivência.

Quero também agradecer a Raul, França, Vinicius, Evelin, Marcius, Marinho, Bertonha, Ronald, Tadeusa, Dulcídio, Paulo, Marta, Elsa, Eliana, Ana Paula, M. Helena e Geni.

A Olga e a Júlia, pelo trabalho de datilografia e ao Luis pelos desenhos.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1. METODOLOGIA DE PLANEJAMENTO ADOTADA	1
1.2. CONCEITOS IMPORTANTES	5
1.2.1. Terminologia Técnica	5
1.2.2. A Rede Telefônica Urbana	6
1.2.3. Termos Específicos do Planejamen- to	8
1.3. MODELO DA REDE TELEFÔNICA E FORMULAÇÃO MATEMÁTICA	8
1.3.1. Modelo de Grafos	9
1.3.2. Algumas Definições	12
1.3.3. Formulação Matemática	12
CAPÍTULO 2 - O PROGRAMA PALCO E O PALCO DINÂMICO	16
2.1. INTRODUÇÃO	16
2.2. O PROGRAMA PEOR	16
2.3. A INTERAÇÃO ENTRE O PEOR E O PALCO	18
2.4. A INTERAÇÃO ENTRE O PEOR E O PALCO DINÂ- MICO	19
2.5. COMO O PALCO DINÂMICO INFLUENCIA NAS AM- PLIAÇÕES DETERMINADAS PELO PEOR A CADA PERÍODO	22

.../.

CAPÍTULO 3 - O PROGRAMA PALCO DINÂMICO	24
3.1. INTRODUÇÃO	24
3.2. DESCRIÇÃO DO CONCENTRADOR DE LINHA DIGITAL TRÓPICO C	24
3.3. POTENCIAL ECONÔMICO E POTENCIAL GEOGRÁFI CO DE UM NÓ	26
3.4. A POLÍTICA DE INSTALAÇÃO DE CONCENTRADORES	28
3.5. DISTÂNCIA CRÍTICA PARA A INSTALAÇÃO DE CON CENTRADORES	30
3.5.1. DISTÂNCIA CRÍTICA PARA INSTALAÇÃO DO CONCENTRADOR UTILIZANDO CABO PCM	31
3.5.2. DISTÂNCIA CRÍTICA PARA INSTALAÇÃO DE CONCENTRADOR UTILIZANDO REDE PRI MÁRIA	33
3.6. FORMAÇÃO DO VETOR DE NÓS CANDIDATOS A RE CEBER CONCENTRADOR	36
3.7. A FASE DE CONFIRMAÇÃO DE CONCENTRADORES .	36
3.7.1. NÓS CANDIDATOS A RECEBER CONCENTRA DOR	37
3.7.2. ANÁLISE DA INSTALAÇÃO DE CONCENTRA DORES	37
3.7.2.1. UTILIZANDO CABO PCM	37
3.7.2.2. UTILIZANDO REDE PRIMÁRIA	45
3.7.3. DIAGRAMA DE BLOCOS SIMPLIFICADO DA SUBROTINA DE CONFIRMAÇÃO DE CONCEN TRADORES	50

3.8.	FASE DE ADIÇÃO DE CONCENTRADORES (FADIC)	51
3.8.1.	NÓS CANDIDATOS A RECEBER CONCENTRADOR	51
3.8.2.	ANÁLISE DA INSTALAÇÃO DE CONCENTRADORES	52
3.8.3.	DIAGRAMA DE BLOCOS SIMPLIFICADO DA FASE DE ADIÇÃO	61
3.9.	O PRIMEIRO ESTÁGIO DE PLANEJAMENTO OU INICIALIZAÇÃO	62
3.10.	ASPECTOS COMPUTACIONAIS	62
3.10.1.	DADOS DE ENTRADA	62
3.10.2.	DADOS DE SAÍDA	63
3.10.3.	DIAGRAMA DE BLOCOS SIMPLIFICADO DO PALCO DINÂMICO PARA UM ESTÁGIO I	64
3.11.	APLICAÇÃO DE UMA REDE REAL	65
CAPÍTULO 4 - PROGRAMA INDICADOR DE CANDIDATOS A CENTRO DE FIOS		
-	NUVEM	74
4.1.	INTRODUÇÃO	74
4.2.	CONEXÃO	74
4.3.	A SUBROTINA ALOCA	75
4.4.	IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL	76
4.4.1.	DESCRIÇÃO DAS SUBROTINAS	78
4.5.	APLICAÇÃO A UMA REDE REAL	78
4.5.1.	O NUVEM COMO INDICADOR DE CANDIDATOS A CENTRAIS	78

4.5.2. O NUVEM COMO INDICADOR DE CANDIDATOS A ELR's	85
4.5.3. OBSERVAÇÕES FINAIS	88
CAPÍTULO 5 - PROGRAMA DE LOCALIZAÇÃO DE ESTÁGIOS DE LINHA REMOTOS PARA O ANO HORIZONTE - ERAH	
5.1. INTRODUÇÃO	89
5.2. ASPECTOS GERAIS DO ESTÁGIO DE LINHA REMOTO	89
5.3. CARACTERIZAÇÃO DO PROGRAMA	91
5.4. CONCEPÇÃO	92
5.4.1. FASE DE SELEÇÃO DE CANDIDATOS	92
5.4.2. FASE DE CÁLCULO DAS DISTÂNCIAS ENTRE OS CANDIDATOS E AS CENTRAIS MAIS PRÓXIMAS	92
5.4.3. FASE DE PREPARAÇÃO DA REDE	92
5.4.4. FASE ITERATIVA	94
5.5. DIAGRAMA DE BLOCOS DO PROGRAMA ERAH	96
5.6. ASPECTOS COMPUTACIONAIS	97
5.6.1. DADOS DE ENTRADA	97
5.6.2. RELATÓRIO DE SAÍDA	98
5.7. APLICAÇÃO A UMA REDE REAL	98
5.7.1. TESTE 1	99
5.7.2. TESTE 2	100
5.7.3. OBSERVAÇÕES FINAIS	100
CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES	
	104

6.1. O PROGRAMA PALCO DINÂMICO	104
6.2. O PROGRAMA NUVEM	104
6.3. O PROGRAMA ERAH	105
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106
ANEXO 1	108
ANEXO 2	112
ANEXO 3	123

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 - METODOLOGIA DE PLANEJAMENTO ADOTADA

O crescente aumento do número de assinantes e as mudanças tecnológicas tornam necessário o desenvolvimento de uma metodologia de planejamento da expansão de redes telefônicas. O objetivo deste planejamento é encontrar a estratégia de menor custo para o atendimento da demanda, durante um período de tempo pré-fixado, satisfazendo determinadas restrições e requisitos tecnológicos.

Estabeleceu-se então uma estratégia para: localização e implantação de novas centrais, expansão da rede de assinantes, interligação de centrais, localização de estágios de linhas remotos e alocação de concentradores.

O problema matemático formulado para esta estratégia tem enorme dimensão e grande complexidade, sendo inviável sua resolução devido aos recursos computacionais e técnicas de solução disponíveis. Optou-se então pela sua decomposição através de uma hierarquização dos objetivos, sem perder o rigor dos modelos matemáticos.

Cinco subproblemas principais são definidos:

- localização de estações telefônicas
- localização de estágios de linha remotos
- cronograma de implantações das estações
- evolução dinâmica de cortes de área
- alocação dinâmica de concentradores

Além destes, existe ainda um sexto subproblema que vem auxiliar a resolução dos subproblemas de alocação de centrais e estágios de linha remotos, indicando candidatos à solução.

lução inicial dos mesmos.

Cada subproblema é resolvido separadamente, interagindo conforme mostrado na figura 1.1.

A seguir é feita uma exposição sobre cada subproblema.

A. Indicação de Candidatos a Estações e a Estágios de Linha Remotos

O procedimento consiste em, a partir da rede existente no ano base de planejamento e com a demanda do ano horizonte, proceder a implantação de módulos de concentração de assinantes.

Verifica-se que, nas regiões caras da rede e portanto candidatas a receber centrais ou estágios de linha remotos são alocados muitos módulos de concentração formando "nuvens" em vários pontos desta.

Através de uma análise destas nuvens o planejador indicará facilmente os nós candidatos a centro de fios.

O procedimento é estático pois não considera estágios intermediários.

B. Localização de Estações [2]

Trata-se de determinar a configuração do ano horizonte, a partir do ano base de planejamento.

Assim, determina-se a localização das novas estações e ampliações das existentes, garantindo, a um custo mínimo, o atendimento da demanda prevista para o ano horizonte.

Aqui também não são considerados os estágios intermediários, sendo portanto um processo estático.

C. Alocação de Estágios de Linha Remotos

Uma vez localizada as estações, processa-se a localização dos estágios de linhas remotos, a partir dos candidatos

indicados no subproblema A. É feito então, um ajuste fino destes candidatos confirmando-os ou descartando-os através de uma análise comparativa dos custos e benefícios decorrentes da implantação do equipamento. O procedimento se aplica apenas no ano horizonte, levando-se em conta a disponibilidade do ano base.

D. Cronograma de Implantação [10]

A partir da configuração do ano horizonte, é resolvido o problema de quando implantar as novas estações e estágios de linhas remotos. A solução desta questão se faz através da comparação entre as várias alternativas possíveis.

E. Evolução Dinâmica de Cortes de Área [7]

Depois do cronograma de implantação das estações, surge o problema de definir as zonas de filiações dos assinantes às estações, ao longo do período de planejamento.

O processo é dinâmico, pois as zonas de filiações são reestruturadas a cada estágio, partindo da configuração da rede no estágio imediatamente anterior, visando atingir a configuração do ano horizonte.

F. Alocação Dinâmica de Concentradores

Uma vez definidos os cortes de área para um determinado estágio, faz-se um estudo da viabilidade da introdução de concentradores na rede, comparando-se custos de equipamento e economia da rede obtida.

O processo é dinâmico uma vez que os resultados são transferidos aos estágios seguintes e poderão influir nos novos cortes de área.

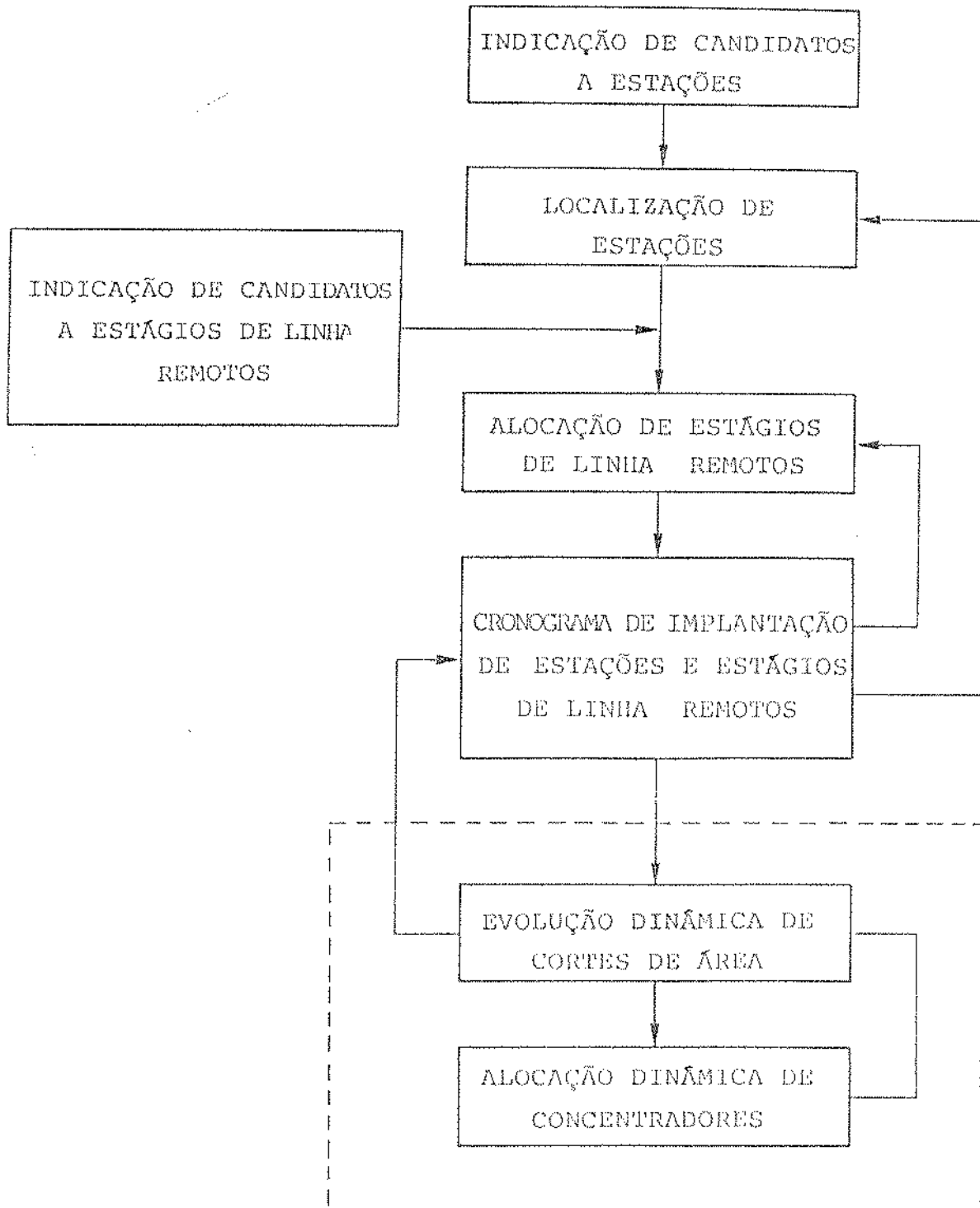


Fig. 1.1 - Interação entre os subproblemas.

1.2 - CONCEITOS IMPORTANTES

Faz-se necessário expor algumas considerações e definições que serão utilizadas no decorrer do texto.

1.2.1 - Terminologia Técnica

A seguir são definidos alguns termos técnicos de telecomunicações [8] .

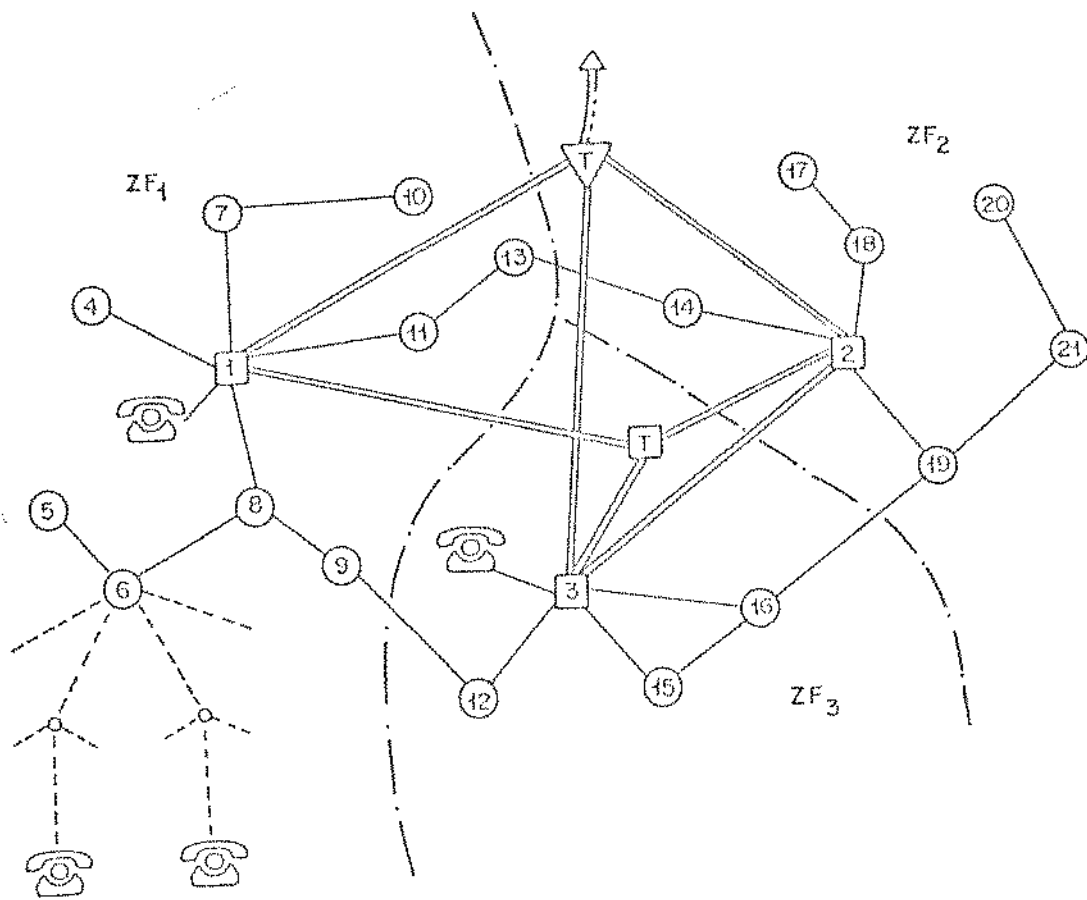
- . CENTRAL - centro local de comutação telefônica à qual se ligam linhas de assinantes. Um assinante se comunica com os outros pelo fato de estarem conectados à central.
- . ASSINANTE - usuário do sistema telefônico
- . ESTAÇÃO TELEFÔNICA - conjunto constituído de um prédio onde está instalada uma ou mais centrais telefônicas
- . CENTRAL TANDEN - faz a ligação entre as centrais locais e não tem assinantes filiados a ela.
- . CENTRAL TRÂNSITO - responsável pelo encaminhamento das ligações interurbanas
- . CENTRO DE FIOS - local para onde convergem assinantes; pode ser uma estação, um estágio de linhas remoto (ELR), um concentrador de linha ou uma central. Portanto, pode ter capacidade de comutação ou não.
- . ESTÁGIOS DE LINHA REMOTOS - equipamento capaz de concentrar um determinado número de assinantes num ponto, ligando-os, depois, a central onde é feita a comutação.
- . PONTO DE CONTROLE OU ARMÁRIO DE DISTRIBUIÇÃO - dispositivo responsável pela conexão entre cabos da rede primária e cabos da rede secundária.

- . ZONA DE FILIAÇÃO OU ZONA DE INFLUÊNCIA - de um centro de fios: área geográfica determinada pelos assinantes que são atendidos naquele centro de fios.
- . REDE DE TRONCOS - é a rede de cabos que faz a interligação entre as centrais locais.
- . REDE PRIMÁRIA - rede de cabos que liga as centrais locais aos pontos de controle. Em geral é subterrânea, e no texto será chamada simplesmente rede.
- . REDE SECUNDÁRIA - rede de cabos, em geral aérea, responsável pela ligação dos assinantes aos pontos de controle.
- . DUTO - tubulação subterrânea onde são instalados os cabos telefônicos
- . GALERIA - conjunto de dutos que interligam dois pontos de controle.
- . PAR DE FIOS - condutores metálicos que ligam os assinantes à sua estação.

1.2.2 - A Rede Telefônica Urbana

Todos os usuários do sistema telefônico urbano são filiados a uma central. Inicialmente eles se ligam a um ponto de controle através da rede secundária. Estes pontos de controle são conectados à estação através da rede primária. A interligação entre as estações é feita através da rede de troncos.

A figura 1.2, a seguir, mostra um exemplo do sistema telefônico urbano.



[J] - CENTRAL LOCAL DE COMUTAÇÃO j

[T] - CENTRAL TANDEM

▽ - CENTRAL TRÂNSITO

① - PONTO DE CONTROLE i

o - CAIXA DE DISTRIBUIÇÃO

☎ - ASSINANTE

ZF_j - ZONA DE FILIAÇÃO DA CENTRAL j

— - REDE PRIMÁRIA

- - - REDE SECUNDÁRIA

== REDE DE TRONCOS

--- REDE INTERURBANA

- · - · - FRONTEIRAS DAS ZONAS DE FILIAÇÃO

Figura 1.2 - Representação da rede urbana

1.2.3 - Termos Específicos do Planejamento

A seguir são definidos alguns termos relativos ao planejamento.

- . ANO BASE OU ANO ATUAL - ano em que se inicia o período de planejamento
- . ANO HORIZONTE OU ANO META - ano que se encerra o período de planejamento
- . PERÍODO DE PLANEJAMENTO - intervalo de tempo considerado pelo estudo
- . SUBPERÍODOS DE PLANEJAMENTO - são subdivisões do período de planejamento e não necessitam ter a mesma duração. O número de subperíodos está relacionado com a precisão que se espera do estudo e com a disponibilidade dos dados.
- . ESTÁGIO DE PLANEJAMENTO - É o limite entre os subperíodos de planejamento, incluindo o ano base e o ano meta

1.3 - MODELO DA REDE TELEFÔNICA E FORMULAÇÃO MATEMÁTICA

O modelo adotado para a rede telefônica é o de grafos, resolvido por um Programa de Fluxo de Custo Mínimo, algoritmo especializado da programação linear (simplex revisado para grafos [5]). Este modelo possibilitou levar-se em conta todos os investimentos já efetuados no sistema telefônico, tais

como disponibilidade de pares de fios e dutos nas galerias , equipamentos de comutação já instalados e capacidade ociosa das estações.

Neste modelamento considerou-se somente a rede primária, pois as redes secundária e de troncos não representam uma parcela otimizável no nível de detalhamento que se levou em conta.

1.3.1 - Modelo de Grafos

A seguir são apresentadas as diferentes partes do sistema telefônico e suas representações no modelo adotado.

. Pontos de Controle

São representados pelos nós do grafo. A todo nó associa-se um número de assinantes referentes a sua demanda para cada estágio do período de planejamento. São levados em conta os pontos de controle existentes no ano base e os previstos para o ano horizonte.

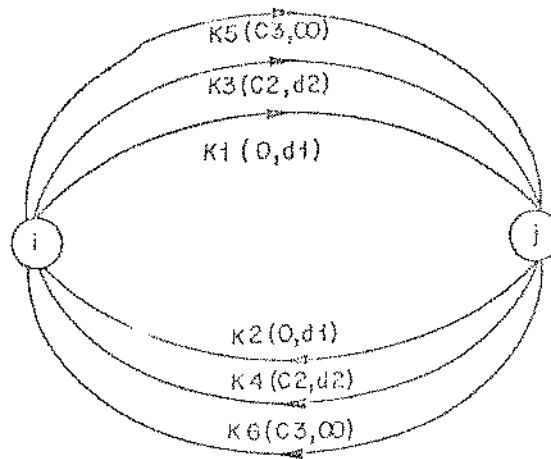
. Rede Primária

O modelo leva em conta as galerias existentes no ano base e as possíveis de serem implantadas até o ano horizonte. Desta forma cada galeria é representada por três tipos de arcos: arcos com capacidade igual ao número de pares de fios implantados, arcos com capacidade igual à ociosidade dos dutos (medida em pares de fios) e arcos de ampliação com capacidade ilimitada.

Os custos destes arcos são respectivamente: zero, o custo de instalar um par de fios num duto ocioso e o custo de se instalar um par de fios num duto novo.

Não se levou em conta as modularidades dos cabos e as bitolas dos fios, pois estas não exercem influência relevante no planejamento a longo prazo.

Como não se conhece a princípio a orientação dos fluxos na rede, criaram-se arcos orientados nos dois sentidos, conforme ilustrado na Figura 1.3.



- c_2 - custo de instalar um par de fios num duto ocioso;
- c_3 - custo de instalar um par de fios num duto novo;
- d_1 - número de pares instalados;
- d_2 - ociosidade (em pares de fios) dos dutos.

Fig. 1.3 - Representação de uma galeria da rede primária.

. Estações

Como os pontos de controle, estas também são representadas por nós no modelo de grafos.

Na formulação, criou-se um nó artificial. Este nó, também chamado nó de fechamento, liga-se às estações através de arcos artificiais capacitados e orientados, denominados arcos de fechamento.

O nó artificial indica o atendimento da demanda do estágio, e a soma dos fluxos dos arcos de fechamento representa o número total de assinantes filiados à estação, correspondente àqueles arcos.

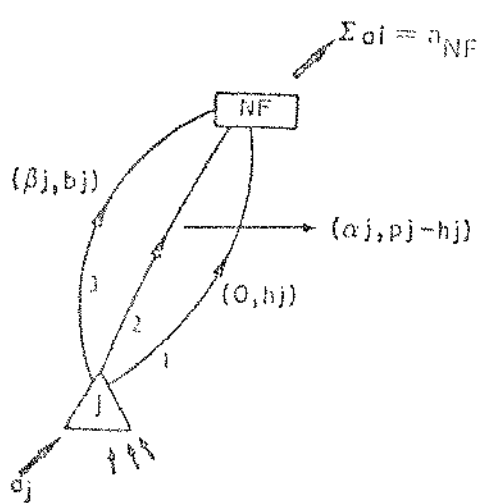
Cada estação possui três arcos de fechamento:

ARCO 1 - Possui custo nulo, pois representa a utilização dos equipamentos de comutação já existentes na estação.

ARCO 2 - Indica o aproveitamento da infra-estrutura existente e ociosa, por isto, os custos assumidos são dos equipamentos de comutação.

ARCO 3 - Representa a ampliação e seu custo é o de ampliação da comutação.

A Figura 1.4 a seguir ilustra a representação adotada para as estações.



NF - nó de fechamento

j - estação

a_{NF} - total de assinantes da rede

a_j - assinantes próprios do nó j

h_j - capacidade de comutação implantada

p_j - capacidade da infra-estrutura existente

b_j - capacidade de ampliação

α_j - custo (por assinante) do equipamento de comutação instalado na parte ociosa da estação

β_j - custo (por assinante) do equipamento de comutação instalado na parte ampliável da estação

Fig. 1.4 - Modelo adotado para as estações.

Se a estação ainda não foi implantada, ela possui somente arco do tipo 3. Se a estação existe mas não é permitido que se amplie sua infraestrutura, haverá apenas os dois primeiros arcos.

Os limitantes inferiores nos arcos do tipo 3 definem o tamanho mínimo estabelecido para a implantação da estação. E os limitantes inferiores nos arcos do tipo 1 possibilitam controlar a redução do número de assinantes filiados a uma estação já existente.

1.3.2 - Algumas Definições

A seguir são definidos alguns termos da teoria de otimização em grafos utilizados neste trabalho.

- . ARCO BÁSICO - corresponde à variável básica em programação linear
- . ARCO NÃO BÁSICO - corresponde à variável não básica em programação linear
- . CICLO - sequência de arcos formando uma cadeia fechada
- . ÁRVORE - grafo conexo e sem ciclos que corresponde a uma solução básica em programação linear
- . LIMITANTE INFERIOR (LI) - mínimo fluxo permitido no arco
- . LIMITANTE SUPERIOR (LS) - máximo fluxo permitido no arco

1.3.3 - Formulação Matemática

Definindo-se os conjuntos

- K - conjunto dos arcos da rede, exceto os de fechamento
- G - conjunto dos nós da rede, exceto os de fechamento

- J_1 - conjunto das estações existentes ampliáveis
 J_2 - conjunto das estações existentes não ampliáveis
 J_3 - conjunto das estações ainda não implantadas
 $I(i)$ - conjunto dos arcos incidentes internamente no nó i , $i \in G$
 $E(i)$ - conjunto dos arcos incidentes externamente no nó i , $i \in G$

e de acordo com a fig. 1.4 pode-se formular o programa de Fluxo de Custo Mínimo como se segue:

$$\text{Minimizar} \quad \sum_{k \in K} c_k x_k + \sum_{j \in (J_1 \cup J_2)} \alpha_j Y_j'' + \sum_{j \in (J_1 \cup J_3)} \beta_j Y_j''' \quad (1)$$

$$\text{sujeito a} \quad \sum_{k \in I(j)} x_k - \sum_{k \in E(j)} x_k - (Y_j' + Y_j'' + Y_j''') = -a_j, \quad \forall j \in J_1 \quad (2)$$

$$\sum_{k \in I(j)} x_k - \sum_{k \in E(j)} x_k - (Y_j' + Y_j'') = -a_j, \quad \forall j \in J_2 \quad (3)$$

$$\sum_{k \in I(j)} x_k - \sum_{k \in E(j)} x_k - Y_j''' = -a_j, \quad \forall j \in J_3 \quad (4)$$

$$\sum_{k \in I(i)} x_k - \sum_{k \in E(i)} x_k = -a_i, \quad \forall i \in G - (J_1 \cup J_2 \cup J_3) \quad (5)$$

$$\sum_{j \in (J_1 \cup J_2)} (Y_j' + Y_j'') - \sum_{j \in (J_1 \cup J_3)} Y_j''' = \sum_{i \in G} a_i = a_{NF} \quad (6)$$

$$0 \leq x_k \leq d_k, \quad \forall k \in K \quad (7)$$

$$\underline{h}_j \leq Y_j' \leq \bar{h}_j, \quad \forall j \in (J_1 \cup J_2) \quad (8)$$

$$0 \leq Y_j'' \leq (p_j - \bar{h}_j), \quad \forall j \in (J_1 \cup J_2) \quad (9)$$

$$\underline{b}_j \leq Y_j''' \leq \bar{b}_j, \quad \forall j \in (J_1 \cup J_3) \quad (10)$$

onde:

- c_k - custo do par de fios no arco $k \in K$
- α_j - custo (de comutação por assinante) do uso da infraestrutura da estação j ;
- β_j - custo (de comutação por assinante) da ampliação ou implantação da estação j ;
- a_i - número de assinantes próprios do nó i ;
- d_k - capacidade em pares de fios do arco k ;
- h_j - limite mínimo de ocupação (em número de assinantes) dos equipamentos de comutação da estação j ;
- \bar{h}_j - capacidade ocupada com equipamentos de comutação na estação j ;
- p_j - capacidade total da infraestrutura existente na estação j ;
- b_j - número mínimo de assinantes exigido para a ampliação ou implantação da estação j ;
- \bar{b}_j - número máximo de assinantes permitido para a ampliação ou implantação da estação j ;
- x_k - fluxo no arco k
- y_j' - fluxo no arco de fechamento do tipo 1 da estação j
- y_j'' - fluxo no arco de fechamento do tipo 2 da estação j ; e
- y_j''' - fluxo no arco de fechamento do tipo 3 da estação j .

O objetivo (1) é minimizar simultaneamente os custos envolvidos no problema (pares de fios e dutos na rede e equipamentos de comutação nas estações). A primeira parcela considera os arcos da rede primária, a segunda e a terceira consideram a comutação nas estações.

As restrições de (2) a (6) fornecem os balanços de fluxos nos nós da rede: (2), (3) e (4), nos conjuntos de estações ampliáveis, não ampliáveis e a implantar, respectivamente; (5) no conjunto dos nós comuns e (6) no nó de fechamento.

As restrições expressas em (7) consideram a capacidade dos arcos da rede primária, enquanto (8), (9) e (10) introduzem limitantes nos arcos de fechamento.

CAPÍTULO 2

O PROGRAMA PALCO E O PALCO DINÂMICO

2.1 - INTRODUÇÃO

O programa PALCO DINÂMICO-PALCO-D veio dar continuidade ao PROGRAMA PALCO, procurando aprimorar esta importante ferramenta de auxílio na tomada de decisão sobre os locais e o número de concentradores a instalar numa rede urbana de telecomunicações.

Seu desenvolvimento originou-se de críticas e sugestões que foram feitas ao programa PALCO.

O PALCO DINÂMICO propicia-nos uma nova metodologia de alocação de concentradores. Esta distingue-se pela maneira como se está processando a interação entre este e o PEOR.

O programa PEOR, que será exposto logo mais, é o responsável pela evolução de cortes de área na rede a cada estágio. O PALCO DINÂMICO aloca concentradores nesta rede, através de um trabalho de pós-otimização.

2.2 - O PROGRAMA PEOR

O PEOR - Programa de Evolução Otimizada da Rede-auxilia o planejamento da expansão de redes locais. A partir da rede existente no ano base ele efetua a sua evolução ao longo do período de planejamento, realizando cortes de área de uma forma automática e otimizada visando atingir a configuração ótima do ano horizonte.

Esta configuração do ano horizonte satisfaz a demanda e incorpora as inovações tecnológicas, procurando aproveitar ao máximo os atuais investimentos de rede e equipamento.

O programa LOCUS [2] é o encarregado de fornecer esta configuração .

A rede atual deve evoluir à rede alvo do ano meta de forma suave, para que os cortes de área não sejam abruptos, havendo assim maior aproveitamento dos investimentos feitos na rede até o momento. Este é o critério que orienta a evolução da rede realizada pelo PEOR.

Baseado neste critério, o procedimento evolutivo é composto de duas fases:

A primeira, Fase de Evolução à Rede Alvo (FERA), procura avançar no sentido de atingir a rede no ano meta, fazendo a filiação ótima dos assinantes às centrais. Ela não se preocupa com a rede primária de cabos disponíveis no início do período.

A segunda, Fase de Adaptação à Rede Atual (FARA), busca adaptar o resultado à rede existente no estágio anterior, procurando uma nova distribuição dos assinantes, que aproveita os cabos existentes, respeitando os cortes de área definidos pela FERA anterior.

Tanto a fase de evolução quanto a de adaptação são aplicadas a cada estágio em que está dividido o horizonte de planejamento.

Ambas as fases são otimizantes e modeladas com elementos da Teoria de Grafos. Conforme já foi comentado, um programa de Fluxo de Custo Mínimo (PFCM), com um algoritmo especializado da Programação Linear (simplex revisado para grafos [5]) é aplicado ao modelo adotado.

É necessário ressaltar que existem duas versões do programa PEOR: na primeira, o PFCM executado na FARA processa-se em cada zona de filiação independentemente isto é, tantas vezes quantas forem as zonas de filiações existentes, tratando-as como redes independentes. Na segunda, o PFCM é executado uma única vez para toda a rede.

Por motivos computacionais, aqui utilizaremos a segunda versão, uma vez que para se trabalhar com a primeira a quantidade de memória necessária nos obrigaria ao uso de disco

de memória, tornando o programa muito mais lento.

A seguir é detalhada a interação do PEOR com o antigo PALCO e com o PALCO DINÂMICO.

2.3 - A INTERAÇÃO ENTRE O PEOR E PALCO

O programa PALCO utiliza uma metodologia, de alocação de concentrador, estática devido à forma como se processa a interação entre este e o PEOR.

Esta interação dá-se segundo a figura 2.1.

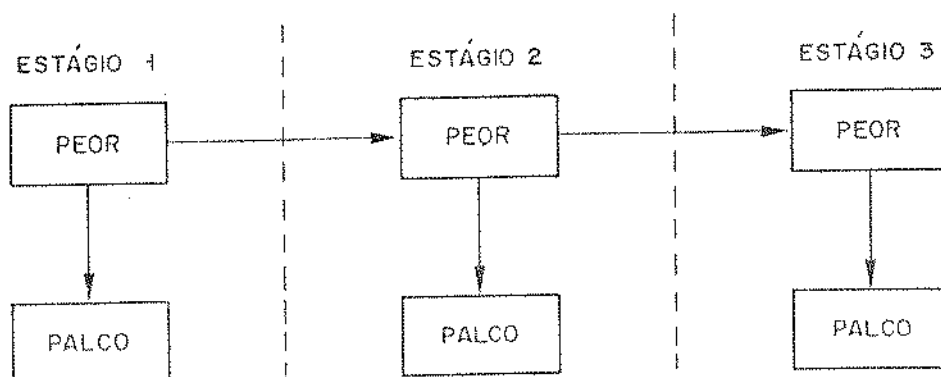


Fig. 2.1 - Representação da interação entre o PALCO e o PEOR.

Assim, o resultado do PALCO em um estágio não tem influência no corte de área e na alocação de concentradores do estágio seguinte. Além disto, a alocação de concentradores se processa numa rede já ampliada, isto é, numa rede que já tem a sua demanda atendida. Portanto, o número de concentradores a ser alocado diminui a cada estágio.

Outra característica desta metodologia é a não consideração dos concentradores instalados nos estágios anteriores, isto é, o tratamento dispensado a estes é igual ao dispensado a um concentrador novo na rede.

2.4 - A INTERAÇÃO ENTRE O PEOR E O PALCO DINÂMICO

O Palco Dinâmico proporciona uma metodologia dinâmica de alocação de concentradores, pela forma como se realiza a sua interação com o PEOR. Esta interação permite que as decisões tomadas pelo PALCO-D para um estágio interfiram nas ampliações a serem efetuadas na rede para atender a demanda neste estágio, bem como nos cortes de área e na alocação de concentradores para o estágio seguinte:

O encadeamento entre o PEOR e PALCO DINÂMICO se processa da forma apresentada na figura 2.2.

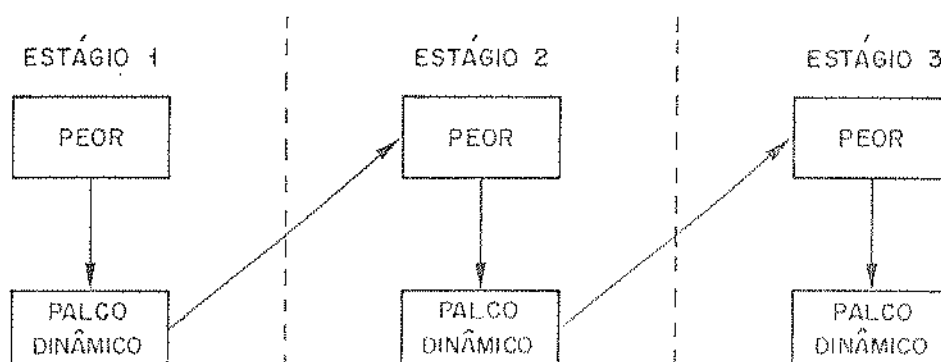


Fig. 2.2 - Representação do encadeamento entre PEOR e PALCO DINÂMICO.

A influência dos concentradores na ampliação da rede se dá porque, na realidade, o PALCO DINÂMICO está inserido dentro do PEOR como uma subrotina do mesmo e a alocação dos concentradores é feita a partir da solução ótima da rede fornecida pelo PFCM executado na FARA.

Este PFCM visa atender a demanda de assinantes dos pontos de controle de cada zona de filiação, procurando minimizar os gastos em cabos da rede. Seja a figura 1.3: o PFCM procura alocar primeiramente os assinantes nos arcos com disponibilidade de pares, ou seja com custo nulo (k_1 ou k_2); so depois de atingida sua capacidade (d_1) é que a alocação se dará nos arcos com dutos ociosos (k_3 ou k_4). Uma vez atingida a capacidade (d_2), a alocação passará a ser feita nos arcos onde o custo é o de se ter dutos e pares novos (k_5 ou k_6).

O uso dos arcos (k_3 ou k_4) e (k_5 ou k_6) define a necessidade de lançamento de novos cabos (ampliação da rede), o segundo também define a necessidade de ampliação de dutos. Contudo, o PALCO DINÂMICO ao instalar concentradores na rede, fará com que ocorra um esvaziamento destes arcos, uma vez que a definição da ampliação da rede, só ocorrerá depois da sua execução. Sobre este fato, serão feitos comentários no item 2.5.

A Figura 2.3 ilustra o esquema da interação entre PEOR e PALCO DINÂMICO para um estágio I.

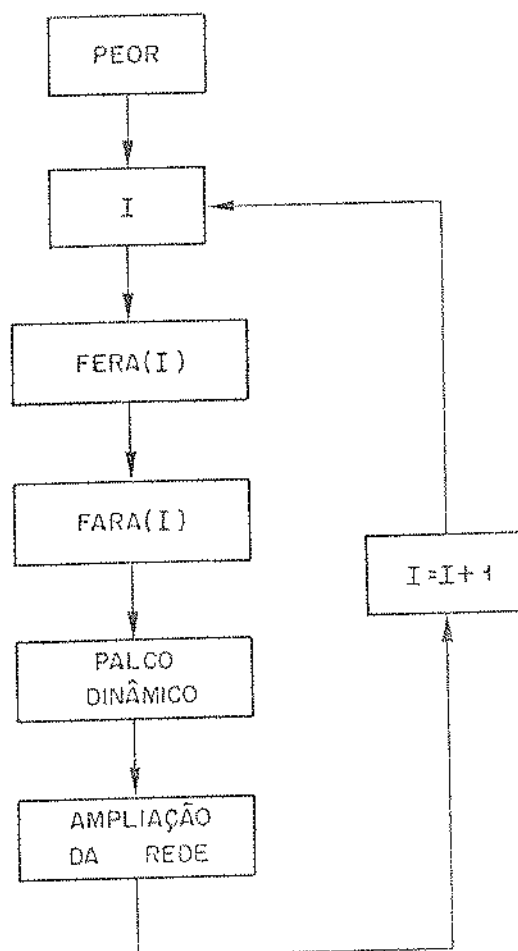


Fig. 2.3 - Esquema da interação entre PEOR e PALCO DINÂMICO para um estágio I.

Desta forma as ampliações a serem feitas a cada estágio são menores, retardando assim a compra de pares de fios.

2.5 - COMO O PALCO DINÂMICO INFLUENCIA NAS AMPLIAÇÕES DETERMINADAS PELO PEOR A CADA PERÍODO

A instalação de um concentrador num determinado nó da rede faz com que as ampliações a serem feitas nos arcos que ligam este nó até a central diminuam, podendo até fazer com que sobrem fios ociosos na rede para serem utilizados no estágio seguinte.

Vejamos um exemplo:

Seja um segmento da rede antes da instalação do concentrador, conforme apresentado na figura 2.4.

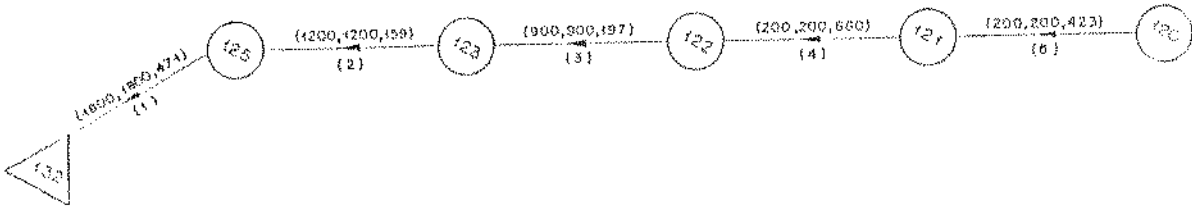


Fig. 2.4 - Representação de um segmento de rede antes da instalação do concentrador.

Está representado nos arcos (k), entre parenteses (X, Y, Z) , o número de pares disponível x , número de pares utilizados y e a ampliação z a ser feita na rede para atender a demanda do estágio. Estes valores são calculados pelo PEOR.

Suponhamos que o n \circ 120 receba um concentrador. Ent \tilde{a} o a nova configura \tilde{c} o da rede ser \tilde{a} :

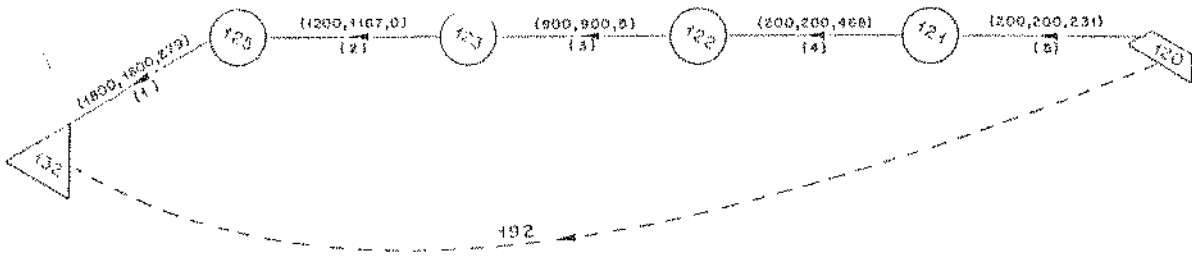


Fig. 2.5 - Representa \tilde{c} o de um segmento de rede ap \tilde{o} s a instala \tilde{c} o do concentrador.

com a instala \tilde{c} o do concentrador, cento e noventa e dois assinantes que antes estavam ligados a central atrav \tilde{e} s dos arcos (1), (2), (3), (4) e (5), estar \tilde{a} o ligados pelo arco artificial. Deste modo haver \tilde{a} um abatimento de cento e noventa e dois pares de fios (capacidade do concentrador) nas amplia \tilde{c} oes de cada arco.

No caso em que a amplia \tilde{c} o a ser feita \tilde{e} menor que a capacidade do concentrador (arco 2), ir \tilde{a} ocorrer uma diminui \tilde{c} o do n \circ mero de pares utilizados, ficando portanto uma ociosidade na rede para o est \tilde{a} gio seguinte.

Portanto a instala \tilde{c} o do concentrador ir \tilde{a} adiar a compra de pares de fios a cada per \tilde{i} odo o que implica em redu \tilde{c} o de custos.

CAPÍTULO 3

O PROGRAMA PALCO DINÂMICO

3.1 - INTRODUÇÃO

Uma das dificuldades encontradas pelo planejador do sistema telefônico urbano é dizer onde e quando alocar concentradores de linha na rede telefônica. O PALCO DINÂMICO vem cumprir este papel através de uma política de minimização de custo de rede.

Neste capítulo é feita uma explanação detalhada de toda a concepção do PALCO DINÂMICO.

3.2 - DESCRIÇÃO DO CONCENTRADOR DE LINHA DIGITAL TRÓPICO C

O Trópico C é o equipamento de concentração em que foi fundamentado o desenvolvimento do programa PALCO DINÂMICO. Contudo, este programa é capaz de instalar qualquer tipo de concentrador, bastando para isso mudar os dados de entrada.

O Trópico C é um sistema que tem capacidade para concentrar 192 assinantes. Pode ser ligado a uma central analógica ou digital via cabo PCM com trinta canais de voz ou através de fio de cobre comum da própria rede primária.

Para sua instalação são necessários seis pares de fios e regeneradores a cada 1,1 km.

A ligação de um concentrador a uma central analógica exige uma unidade central, ao passo que se for ligado a uma central digital esta unidade é dispensável, barateando assim o custo do equipamento.

A seguir mostramos o Trópico C ligado respectivamente a uma central analógica e digital.

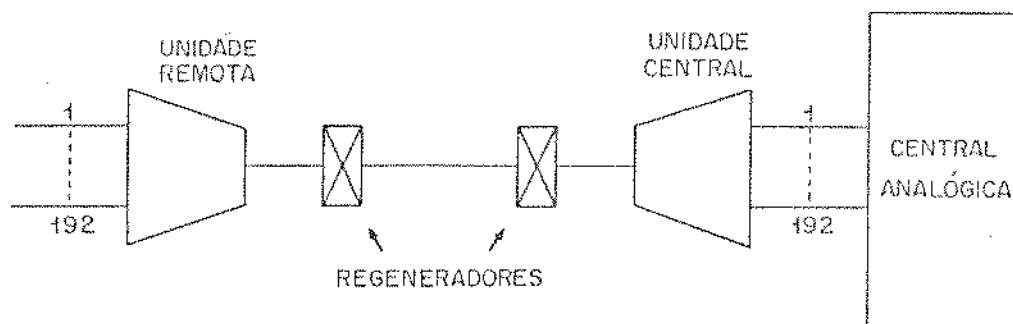


Fig. 3.1 - Representação de um concentrador ligado a uma central analógica

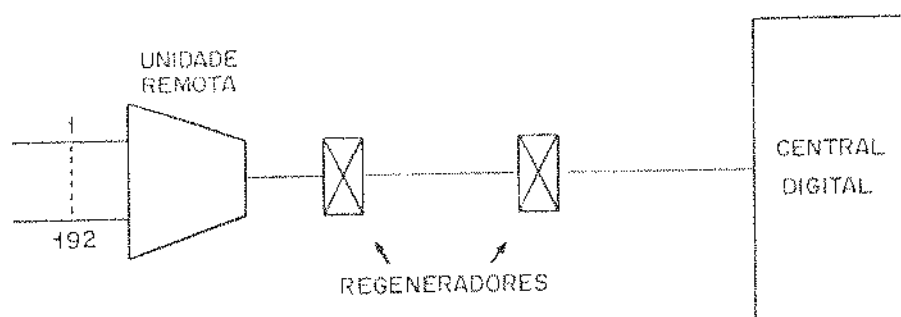


Fig. 3.2 - Representação de um concentrador ligado a uma central digital.

3.3 - POTENCIAL ECONÔMICO E POTENCIAL GEOGRÁFICO DE UM NÓ

Chamamos de potencial geográfico de um nó a distância real, medida ao longo da rede de dutos, do nó a sua central.

Potencial econômico de um nó é o custo marginal de se ligar este nó até a central, levando em conta o comprimento necessário de fio e a dificuldade de se ligar este fio até a central devido a presença de obstáculos (rios, morros, etc.) neste percurso.

Seja, por exemplo, o arco k mostrado na fig. 3.3. O comprimento de fios necessário para se ligar o armário de distribuição (1) a sua central C é de m metros. Como por hipótese este arco está numa região cheia de obstáculos, o custo para instalar um metro de fio neste arco é de α vezes o custo para se instalar um metro de fio numa região sem obstáculos.

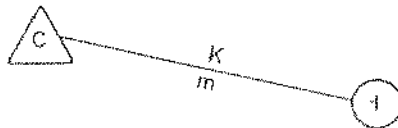


Fig. 3.3 - Representação de um arco ligando um nó a uma central.

Podemos então dizer que o POTENCIAL GEOGRÁFICO (POTE) do nó (1) é m e o seu POTENCIAL ECONÔMICO (POTE) é $\alpha \times m$.

Numa rede telefônica, não só a presença de obstáculos vai diferenciar o potencial econômico do potencial geográfico, bem como a presença de fios ociosos nos arcos. No primeiro exemplo os obstáculos faziam com que o potencial econômico fosse maior que o potencial geográfico, agora pode ocorrer o inverso, ou seja o potencial econômico ser menor que o geográfico

Vejamos um exemplo de como isto pode ocorrer.

Seja o nó (1) ligado à central C, através do caminho mostrado na figura 3.4 abaixo

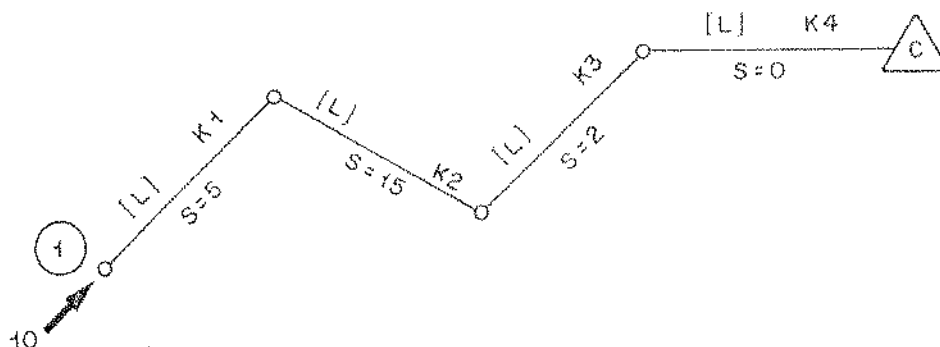


Fig. 3.4 -

Seja L o comprimento dos arcos e s o número de fios ociosos nos arcos.

A demanda de assinantes do nó (1) é igual a 10.

Podemos então dizer que o potencial geográfico do nó 1 é de $4L$ ($POTG = 4L$) e o potencial econômico é de $3L$ ($POTE=3L$). Isto ocorre porque o custo de ligação no arco k_2 é nulo, uma vez que o número de pares de fios ociosos neste arco é superior ao número de assinantes que chegam em (1) para serem conectados à central.

Assim, fica claro que o potencial econômico de um nó, bem como o comprimento econômico de um arco, depende fundamentalmente do tipo de local por onde passa o duto desse arco e do número de pares de fios ociosos contido nele.

A informação sobre obstáculos é fixa e deve ser incorporada ao comprimento físico de um arco gerando seu comprimen

to econômico. Já a quantidade de fios ociosos é variável e é considerada no cálculo do potencial econômico dos nós.

3.4 - A POLÍTICA DE INSTALAÇÃO DE CONCENTRADORES

A modularidade e o pequeno porte dos equipamentos de concentração, bem como o baixo custo de edificação, fez com que adotássemos uma política de instalação que permite transferi-los de um ponto para outro da rede, a cada estágio. Esta transferência pode ser interessante devido ao fato dos concentradores se alocarem em nós que no futuro poderão receber centrais. Isto é, um nó que num determinado período recebeu um concentrador para atender sua demanda de assinantes, com o passar do tempo poderá não necessitar mais do mesmo, pelo fato de ter sido instalada uma nova central nele ou nas suas proximidades.

Pode ocorrer também que haja uma ampliação na rede provocando com isto alteração na distribuição dos assinantes numa região da mesma, assim o nó que antes estava concentrado deixa de necessitar do concentrador.

Para se fazer a transferência destes concentradores adotou-se uma política de estoque. Considerou-se em esto que todos os concentradores que foram instalados na rede no estágio anterior.

o PALCO DINÂMICO vê cada estágio como se nenhum concentrador tivesse sido instalado. Isto é, no início de cada estágio ele analisa cada nó da rede para verificar se deve ou não receber concentrador.

Tudo se passa como se no final de cada estágio, retirássemos todos os concentradores dos nós e guardássemos num estoque para ir realocando-os no estágio seguinte. Muitos destes concentradores serão alocados nos mesmos nós em que estavam, outros, entretanto, irão para nós que até então não tinham sido concentrados.

Como já foi dito anteriormente, um concentrador ligado a uma central analógica necessita de uma unidade remota e de uma unidade central e se for ligado a uma central digital ,

necessita apenas de uma unidade remota.

Por este motivo trabalharemos com estoque em termos de número de unidades remotas (NURE) número de unidades centrais (NUCE).

Para que essa política possa ser aplicada, o programa tem que possuir uma memória com todas as unidades remotas e unidades centrais instaladas no estágio anterior.

Vejamos um exemplo para que possa ficar mais claro esse sistema.

Suponhamos que no 1º estágio o programa aloque dez concentradores, sendo seis ligados a centrais digitais e quatro ligados a centrais analógicas. Como se trata do 1º estágio, não possuímos nada em estoque, mas no início do estágio 2 teremos respectivamente dez unidades remotas e quatro unidades centrais no estoque.

Se no estágio 2, o programa determinar a instalação de cinco concentradores ligados a central digital e três ligados a central analógica isto significa que não será preciso comprar nada novo, pois o estoque supriu a necessidade. Assim, no início do estágio 3 continuaremos a ter em estoque as mesmas 10 unidades remotas e 4 unidades centrais.

Vejamos agora se, ao invés de cinco concentradores ligados a central digital e três ligados a analógica, fossem alocados respectivamente sete e cinco. Isto significa que teremos de comprar um concentrador digital e um analógico, ou seja duas unidades remotas e uma unidade central e o estoque no início do estágio 3 será de doze unidades remotas e cinco unidades centrais.

O fato de estarmos trabalhando com dois estoques nos permite que uma unidade remota comprada inicialmente para ser ligada a uma central digital possa ser utilizada por uma central analógica.

O custo da unidade remota (CCUR) e da unidade central (CCUC) em estoque será igual ao seu valor residual, aqui compreendido como sendo o preço pelo qual ela poderá ser vendida caso não seja instalada.

Como ainda não existem estudos a respeito da curva de depreciação do concentrador, com intuito de montar um exemplo, arbitramos os seguintes valores:

$$VRUR = 0,5 * CCUR$$

$$VRUR1 = 0,6 * CCUR$$

$$VRUC = 0,5 * CCUC$$

$$VRUC1 = 0,6 * CCUC$$

VRUR - valor residual de uma UR; adotamos como custo de instalação de uma UR do estoque em um nó que foi concentrado no período anterior.

VRUR1 - valor residual de uma UR; adotamos como custo de instalação de uma UR do estoque em um nó que não foi concentrado no período anterior.

VRUC - valor residual de uma UC; adotamos como custo de instalação de uma UC do estoque em um nó que foi concentrado no período anterior e não mudou de zona de filiação.

VRUC1 - valor residual de uma UC; adotamos como custo de instalação de uma UC do estoque em um nó que não foi concentrado no período anterior, ou que foi mas mudou de zona de filiação.

Os valores de VRUR1 e VRUC1 foram estimados um pouco acima de VRUR e VRUC pois levou-se em conta o custo necessário para a transferência destas unidades de um lugar para outro.

3.5 - DISTÂNCIA CRÍTICA PARA A INSTALAÇÃO DE CONCENTRADORES

A decisão de se instalar ou não o concentrador é tomada depois de se fazer uma análise de custo-benefício desta instalação.

Esta análise depende em primeira instância do custo de concentradores, equipamentos associados e economia de pares de fios que o concentrador proporciona.

Determinou-se então um parâmetro chamado "DISTÂNCIA CRÍTICA" (DC), a partir da qual a diferença entre custo e benefício é menor que zero. Em outras palavras, distância crítica para instalação de um concentrador é a distância após a qual um nó é candidato a receber concentrador.

Esta distância crítica é função dos custos de concentrador, regenerador e meios de transmissão.

3.5.1. - DISTÂNCIA CRÍTICA PARA INSTALAÇÃO DO CONCENTRADOR UTILIZANDO CABO PCM

O programa foi desenvolvido de tal forma que permite que se aloque concentrador utilizando somente cabo PCM ou que se faça uma análise e escolha entre usar o cabo PCM ou fios de cobre da rede primária.

O planejador é quem vai definir, antes de rodar o programa, se esta análise deve ou não ser feita.

O cálculo da distância crítica utilizando o cabo PCM é feito baseado nos seguintes dados.

CC : Custo do Concentradores

Se a central for analógica $CC=CCUR + CCUC$

Se a central for digital $CC=CCUR$

CR : Custo do Regenerador

dr : Distância entre Regeneradores

Ep : Economia de Pares de Fios

capacidade do concentrador; no nosso caso $Ep=192$

Ne : Número de cabos PCM

nº de cabos necessários para ligar o concentrador a sua central; no nosso caso $Ne = 6$.

CP : Custo do PAR-KM

custo do fio de cobre utilizado

C_p : Custo do PAR-KM do Cabo PCM
 usado para ligar o concentrador do nó até
 a central.

O cálculo da distância crítica é feito graficamente
 como mostrado na figura 3.5.

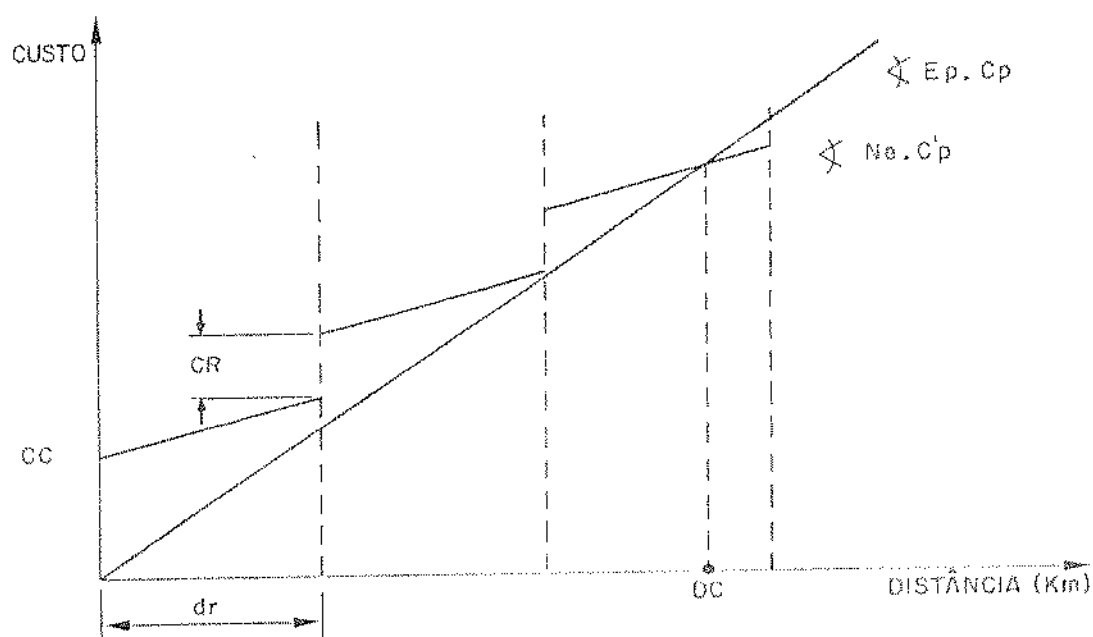


Fig. 3.5 - Representação do cálculo da distância crítica.

Como o custo do concentrador analógico é diferente do concentrador digital, fica claro que teremos uma distância crítica para cada caso.

Estamos trabalhando com estoque, e isto acarreta um novo valor de distância crítica, calculado com base no custo do estoque.

Desta forma teremos valores de DC1 baseados no custo do concentrador novo e DC2 baseados no custo do concentrador em estoque (valor residual). Em ambos os casos deveremos considerar se a tecnologia é analógica ou digital, dependendo da central com que se está trabalhando.

O custo de estoque utilizado como base de cálculo de DC2 é VRUR para o caso digital e VRUR+VRUC para o caso analógico.

Como o valor residual é menor que o custo do concentrador novo, o valor de DC2 será sempre menor que DC1.

Optamos em calcular DC2 pelo menor valor residual (VRUR e VRUR+VRUC), ao invés de VRUR1 e VRUR1 + VRUC1 porque, aqueles valores nos fornecerão um valor de DC2 um pouco menor e assim não haverá perigo de se perder algum bom nó candidato.

Gostaríamos de ressaltar que quando falamos em concentrador analógico ou digital estamos nos referindo ao concentrador ligado à central analógica e digital respectivamente.

3.5.2 - DISTÂNCIA CRÍTICA PARA INSTALAÇÃO DE CONCENTRADOR UTILIZANDO REDE PRIMÁRIA

Consideraremos que deverá ser utilizada rede primária para a instalação de concentrador quando houver disponibilidade de fios de cobre ao longo de todo o percurso entre o nó que receberá o concentrador e a central. Se em algum trecho do percurso não houver fios disponíveis, o concentrador será instalado via cabo PCM. Ou seja, se for necessário comprar fio de cobre para a instalação do concentrador, não se utiliza a rede primária e lança-se o cabo PCM.

Na rede primária o concentrador utiliza seis pares de fios de cobre comum para concentrar cento e noventa e dois

assinantes, isto é, não se lança nenhum fio novo para ligar o concentrador até a central ; a ligação é feita através de seis pares de fios da própria rede primária. Deste modo o número de pares de fios liberados na rede com a instalação de um concentrador será a diferença entre a capacidade do concentrador e os pares de fios necessários para a sua instalação.

No nosso caso o número de pares de fios liberados será:

$$E_{p1} = 192 - 6 = 186$$

Deste modo haverá uma diminuição na inclinação da reta fornecida por E_{p1} . C_p , podendo causar um aumento da distância crítica. Por outro lado a diminuição da inclinação da reta $N_e.C'p$, devido a não utilização do cabo PCM, causa efeito contrário: diminui a distância crítica. Este segundo efeito sendo preponderante sobre o primeiro faz com que a distância crítica final diminua.

Graficamente o cálculo da distância crítica está mostrado na figura 3.6.

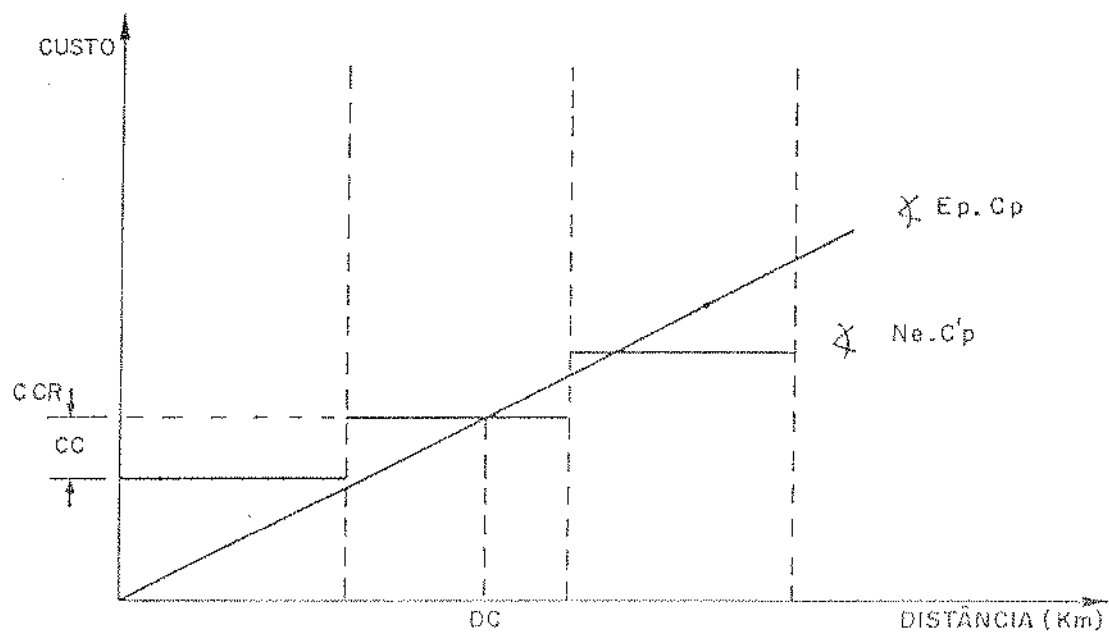


Fig. 3.6 - Representação do cálculo da distância crítica.

Aqui também teremos as distâncias críticas $DC1$ e $DC2$, como no caso anterior.

3.6 - FORMAÇÃO DO VETOR DE NÓS CANDIDATOS A RECEBER CONCENTRADOR

A distância crítica nos define quais os nós que são candidatos a receber concentrador. Deste modo a nossa rede telefônica será composta de nós com potencial econômico maior que a distância crítica e nós com potencial econômico menor ou igual à distância crítica.

Os nós com potencial econômico menor ou igual à distância crítica são imediatamente descartados, pois para estes o custo do concentrador será sempre maior ou igual a economia de fios decorrente da sua implantação.

Os nós com potencial econômico maior que a distância crítica são, em princípio, candidatos a receber concentrador.

A formação do vetor de nós candidatos se faz levando em conta as distâncias críticas DC1 e DC2.

3.7 - A FASE DE CONFIRMAÇÃO DE CONCENTRADORES

Devido ao fato dos concentradores serem realocáveis e do PALCO DINÂMICO tratar cada estágio de planejamento como se nenhum concentrador tivesse sido instalado, surgiu a idéia de se dividir o programa em duas fases: Fase de Confirmação de Concentradores (FACON) e Fase de Adição de Concentradores (FADIC).

A FACON é responsável pela permanência ou não, na rede, dos concentradores que foram instalados no período anterior.

A FADIC, que veremos adiante, responsabiliza-se pela adição ou não de novos concentradores.

3.7.1 - Nós Candidatos a Receber Concentrador

A FACON trabalha com distância crítica DC2, pois nesta fase o estoque será sempre positivo, exceto no primeiro período de planejamento, caso que será tratado adiante.

Então, aqui, serão candidatos a receber concentrador todos os nós que possuírem potencial econômico (POTE) maior que a distância crítica DC2.

3.7.2 - Análise da Instalação de Concentradores

O simples fato de um nó possuir potencial econômico maior que a distância crítica não é uma garantia de que irá receber concentrador. Por isto torna-se necessário testar cada nó candidato em termos de custo de rede com e sem concentrador.

3.7.2.1 - UTILIZANDO CABO PCM

Antes de se testar um nó para saber se ele recebe ou não concentrador, faz-se uma ordenação do vetor de nós candidatos de maneira a se testar em primeiro lugar os nós de maior potencial econômico.

A necessidade de se testar primeiramente os nós de maior POTE, surge do fato de que, quanto mais afastado da estação estiver o armário de distribuição, maior será, em princípio, a vantagem de se instalar o concentrador neste nó.

O critério para a instalação será o seguinte:

Escolhe-se o nó de maior POTE e cria-se um arco artificial ligando-o até sua central.

Este arco terá um custo muito próximo de zero e capacidade igual à do concentrador, ou seja cento e noventa e dois assinantes.

Com este novo arco na rede, executa-se um Programa de Fluxo de Custo Mínimo (PFCM) e obtém-se um valor de custo da rede para esta situação. A esse valor são somados os gastos com concentrador, regeneradores e cabos PCM necessários, levando-se em conta o potencial geográfico (POTG) e não o POTE.

Uma vez somados estes gastos, obteremos o custo da rede com concentrador.

A seguir efetua-se uma comparação entre as duas situações, rede com e sem concentrador.

Se a rede com concentrador for a mais barata, deve-se fazer a instalação do mesmo.

Como aqui o estoque é sempre positivo e os custos envolvidos variam de acordo com a tecnologia da central e mudança de zona de filiação, faz-se necessário um detalhamento da análise destes custos.

Analisemos, então, o caso em que:

O nó candidato muda de zona de filiação

Em primeiro lugar urge que se saiba a tecnologia da central a qual será ligada o concentrador.

- Central Analógica

É sabido que este tipo de central necessita de uma unidade remota que é instalada junto ao nó e uma unidade central instalada junto à central.

Vejamos nas figuras 3.7 e 3.8, um exemplo do que ocorre.

No estágio anterior (T-1) o concentrador estava alocado no nó I e ligado à central.

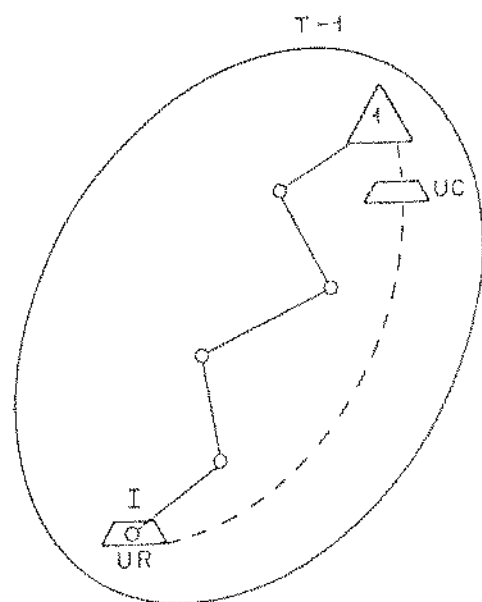


Fig. 3.7 - Representação de um concentrador ligado a uma central analógica.

A mudança do nó I para outra zona de filiação no estágio T, vai provocar o deslocamento da UC para outra central e será necessária a instalação de regeneradores e cabo PCM.

A figura 3.8 nos dá uma visualização melhor do que ocorrerá.

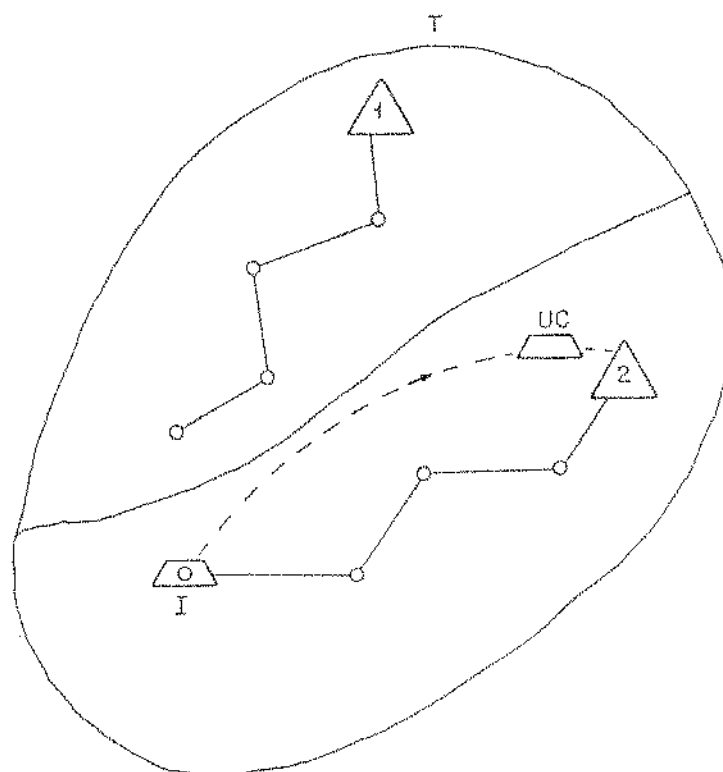


Fig. 3.8 - Representação da mudança de zona de filiação de um concentrador ligado a uma central analógica.

A unidade central UC que antes estava ligada à central 1, agora estará instalada junto à central 2. Foi necessário também instalar um novo entroncamento.

Neste caso o concentrador só será confirmado no nó I se:

$$C_1 > C_2 + AIN + CE$$

onde

C_1 = custo da rede sem o arco artificial

C_2 = custo da rede com o arco artificial

ΔIN = custo de regeneradores mais cabo PCM

CE = custo do concentrador para esta situação;

$$CE = 0,5 CCUR + 0,6 CCUC.$$

O valor da UC no estoque é maior que a UR porque le vou-se em conta o fato de ser necessário transportar a UC de uma central para outra, o mesmo não ocorrendo com a UR.

- Central Digital

Aqui só será preciso a UR e mesmo que a zona de filiação mude ela permanecerá no mesmo lugar. Serão necessários entretanto novos cabos PCM e regeneradores para o entroncamento.

Vejamos o exemplo da figura abaixo:

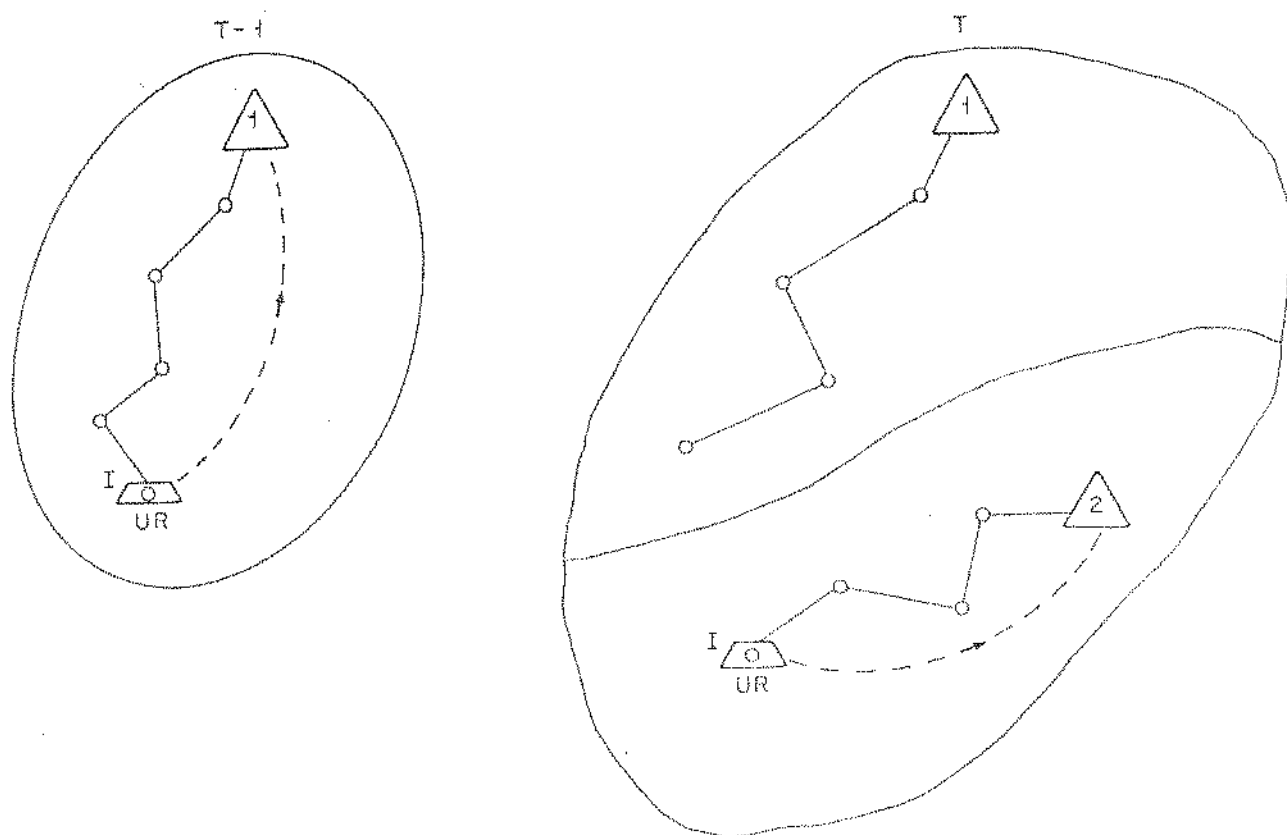


Fig. 3.9 - Representação da mudança de zona de filiação de um concentrador ligado a uma central digital.

Então o concentrador só será confirmado no nó I se

$$C_1 > C_2 + \Delta IN + CE$$

onde CE é o custo da UR, ou seja $CE = 0,5 CCUR$.

O nó candidato não muda de zona de filiação

Não havendo mudança de zona de filiação os gastos com entroncamento (ΔIN) serão nulos qualquer que seja a tecnologia da central mãe.

Vejamos separadamente o que ocorrerá se a central for analógica ou digital.

- Central Analógica

A situação técnica entre os dois períodos T-1 e T é exatamente a mesma, conforme mostrado na figura 3.10.

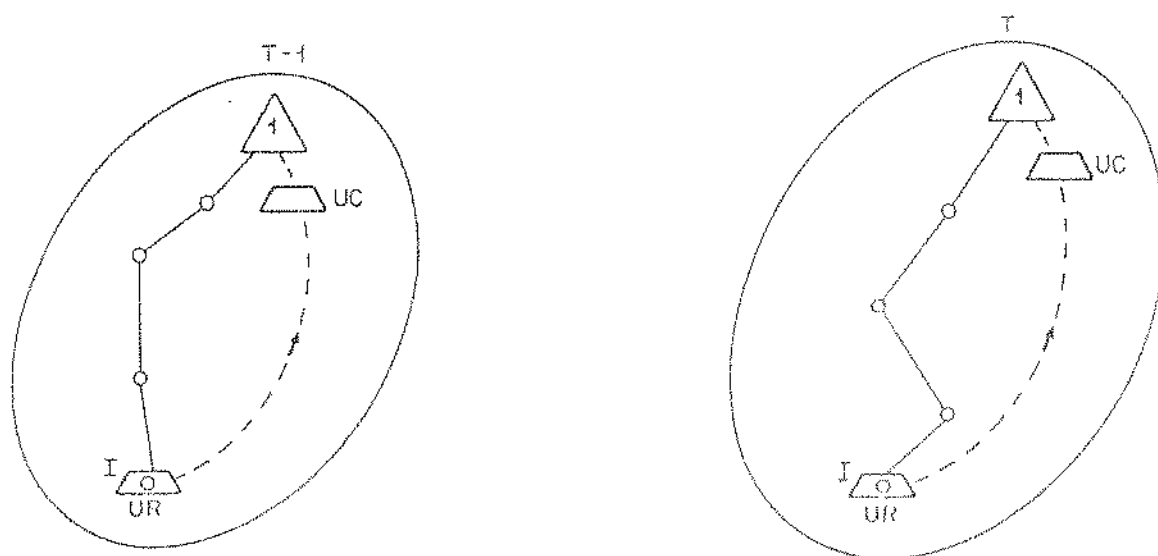


Fig. - 3.10 - Representação de um concentrador ligado a uma central analógica e sem mudança de zona de filiação de um período para outro.

Então o concentrador será mantido no nó I no período T se

$$C_1 > C_2 + CE$$

onde $CE = 0,5 \text{ CCUR} + 0,5 \text{ CCUC}$

Foram considerados valores de 50% da UR nova e 50% da UC nova porque no caso da permanência do concentrador no nó, não será preciso fazer nenhuma alteração (de ordem técnica) que requeira mão de obra.

- Central Digital

Este caso é idêntico ao analógico, só que o custo do concentrador será somente o da UR.

Então a concentração será mantida no nó se:

$$C_1 > C_2 + CE$$

onde $CE = 0,5 \text{ CCUR}$.

Queremos ressaltar que esses valores de CE por nós atribuídos, em termos de porcentagem do custo da UR e UC novos podem perfeitamente ser substituídos, uma vez que são valores que entram como dados de entrada do programa.

Se depois de terminada a análise de um nó quanto à instalação do concentrador, concluir-se que não deverá haver instalação neste nó, o mesmo é descartado do conjunto de candidatos, inclusive dos candidatos da FADIC. A subrotina FACON prosseguirá testando o segundo nó de maior potencial e assim sucessivamente até não haver mais candidatos.

Uma vez feita a alocação do concentrador num nó, pode ocorrer que:

- o potencial econômico deste nó continue alto, isto é acima da distância crítica DC_2 . Então ele será novamente candidato se o número de concentradores nele instalados no estágio atual for menor que o número do estágio anterior.

Se este número for igual ele poderá entrar como candidato somente na fase de adição de concentradores.

- O potencial econômico caia abaixo de DC2. Então ele sai da lista de candidatos.

3.7.2.2 - UTILIZANDO REDE PRIMÁRIA

O artifício adotado para o teste de simulação da instalação de concentrador usando a rede primária, é também o da criação do arco artificial. Haverá algumas modificações no custo de entroncamento, uma vez que agora não é mais necessário o cabo PCM, e no número de pares de fios liberados na rede.

O número de pares de fios liberados na rede pela instalação do concentrador através da rede primária será de cento e oitenta e seis, embora a capacidade do concentrador seja de cento e noventa e dois. É que seis pares, da própria rede primária, serão necessários para a instalação do concentrador.

Seja o exemplo da figura 3.11.

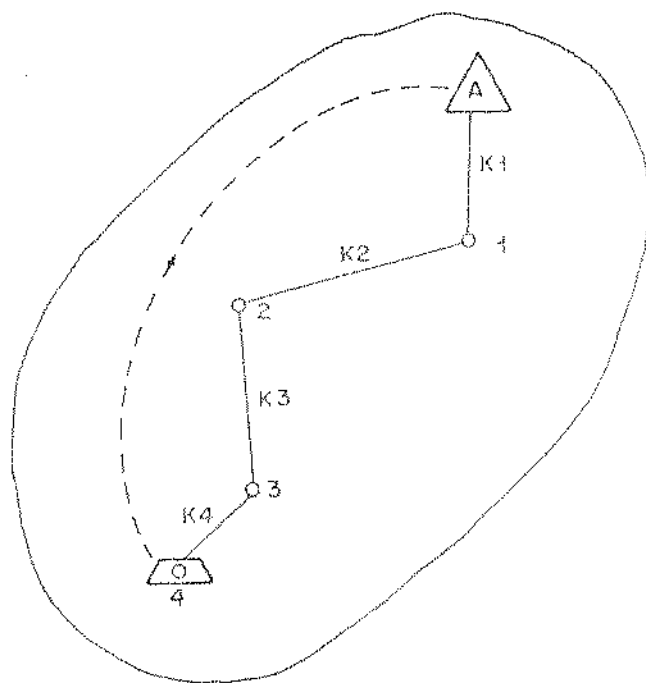


Figura 3.11

Suponhamos que se instale um concentrador no nó 4. Isto irá fazer com que se libere um certo número de pares de fios nos arcos K1, K2, K3 e K4.

Quando a ligação entre o nó e a central é feita via cabo PCM, os assinantes do nó 4 fluem para a central através dos cabos PCM que estão aqui representados pelo arco artificial, ou seja, os cento e noventa e dois assinantes não mais utilizarão os arcos K1, K2, K3 e K4.

No caso da instalação via rede primária o arco artificial funciona apenas como um método para simplificar o trabalho de simulação, uma vez que os assinantes se ligarão à central através de arcos da rede existente, o mesmo ocorrendo com o concentrador.

No caso do equipamento considerado, o número de pares de fios liberados devido a sua instalação, será igual a sua capacidade menos a quantidade necessária para sua ligação, isto é cento e oitenta e seis pares.

A utilização do arco artificial é aqui possível porque o concentrador só será instalado via rede primária se esta possuir disponibilidade de seis pares de fios ao longo do percurso entre o nó e a central. Havendo disponibilidade, significa que teremos fios com custo nulo para esta instalação.

Quem vai nos dizer se existe esta disponibilidade é o programa de fluxo de custo mínimo (PFCM).

O processo é o seguinte:

- cria-se um arco artificial entre o nó candidato e a central.

Este arco artificial terá:

limite superior $LS = 192$

limite inferior $LI = 0$

custo $CUST = c$

e estará fora da base no limite inferior.

- a seguir executa-se um PFCM para achar a nova solução ótima.

Queremos ressaltar que esta nova rodada do PFCM é muito rápida pois ela parte da solução ótima anterior.

Optamos por colocar o custo do arco artificial igual a c porque o custo dos arcos da rede que possuem disponibilidade

de é igual a zero e para esta análise é necessário que o PFCM preencha em primeiro lugar os arcos com disponibilidade.

Na nova solução ótima pode ocorrer que:

A. O Arco Artificial Fique Fora da Base

Como o arco artificial foi criado em cima de uma solução ótima, num nó com potencial alto e custo praticamente nulo, é geralmente correto afirmarmos que toda vez em que ele estiver fora da base, estará no limite superior, isto é, com fluxo $x=192$. Se, esdruxulamente, este fluxo permanecer no limite inferior o nó em análise perderá no teste de comparação de custos.

O arco estando no limite superior indica-nos que não existe disponibilidade de fios para que a alocação seja feita através da rede primária. Então se o concentrador for instalado, sua ligação à central deverá ser através de cabo PCM.

Vejamos um exemplo.

A configuração ótima de um trecho de rede sem concentrador é mostrada na figura 3.12.

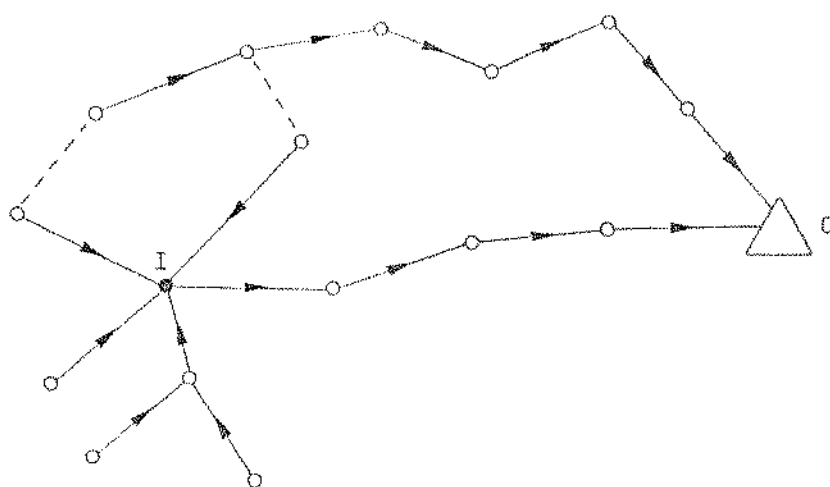


Fig. 3.12 - Representação da configuração ótima de um segmento de rede sem concentrador.

As setas nos arcos cheios indicam o sentido do fluxo, as linhas pontilhadas mostram arcos sem fluxo. O nó escuro I tem potencial econômico maior que DC, portanto é candidato a receber concentrador.

Com a introdução do arco artificial e a otimização da nova rede, suponhamos que haja uma mudança na configuração da rede e o fluxo do arco A seja:

$$x_A = 192 = LS$$

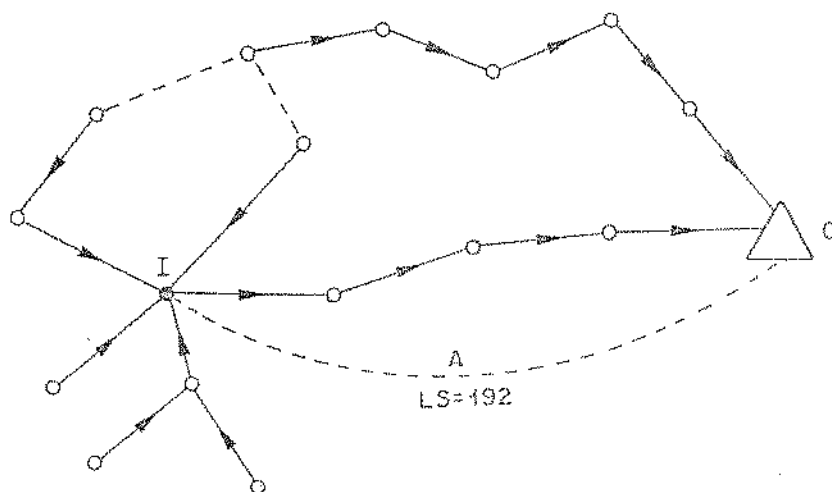


Fig. 3.13 - Representação da configuração ótima de um segmento de rede depois da instalação de um concentrador.

Se houvesse pelo menos seis pares de fios, com custo zero, na rede (fig. 3.13), o arco artificial não iria atingir seu limite superior uma vez que seu custo é igual a $\epsilon > 0$.

B. Arco Artificial na Base

Isto significa que o fluxo dele será tal que $0 < x < 192$.

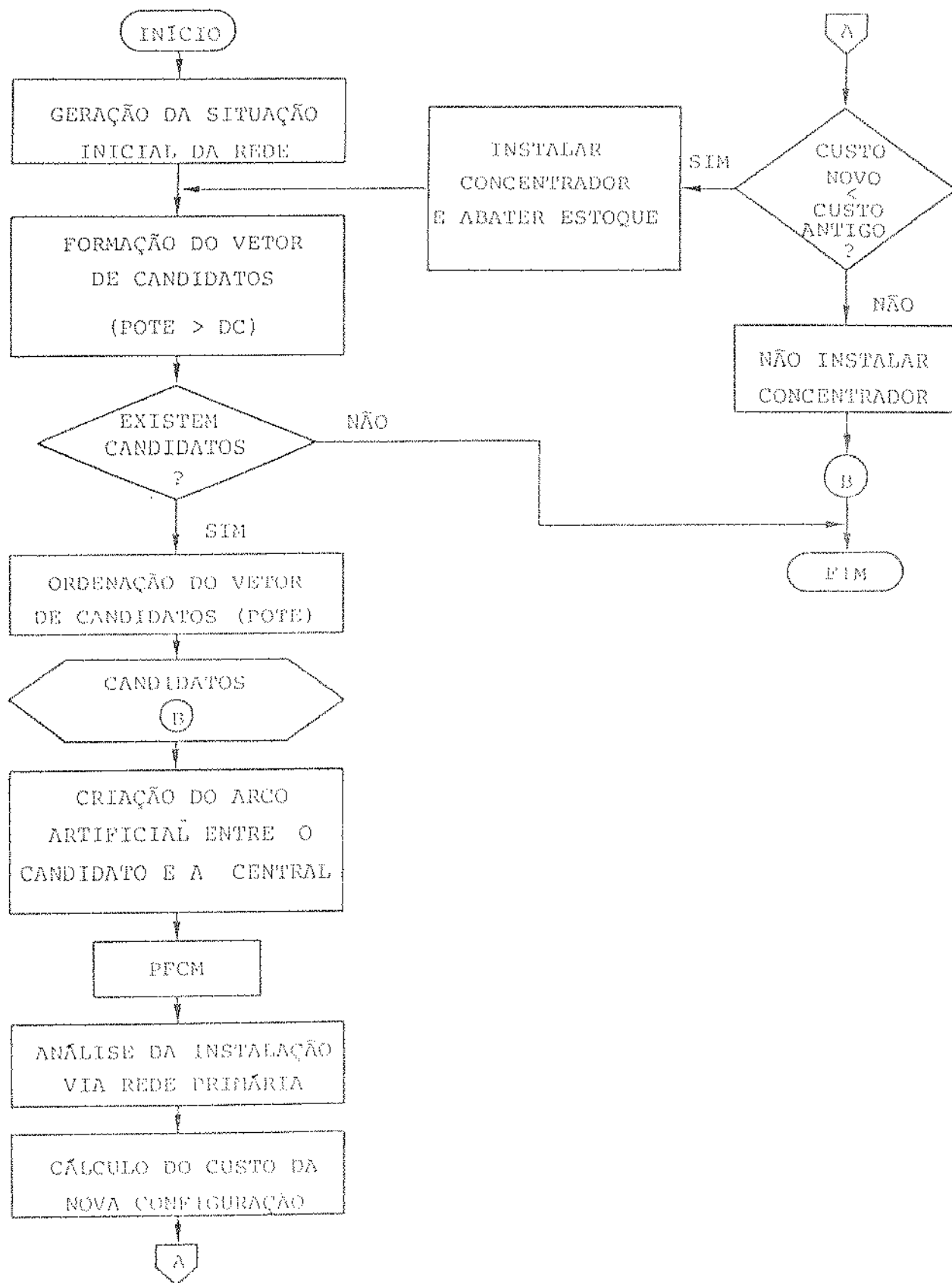
Só dois fatores poderiam fazer com que isto ocorresse:

- a somatória dos fluxos que chegam em I mais a demanda própria de I for menor que cento e noventa e dois ou ,
- a existência de um percurso, ligando o nó I a central, com custo igual a zero.

Se a somatória do fluxo entrante em I mais a demanda própria de I menos o fluxo do arco artificial for maior que seis, podemos afirmar que existe disponibilidade de fios para a instalação do concentrador via rede primária.

Colocamos que o cálculo acima tem que ser maior que seis porque esta é a quantia de pares de fios que necessitamos para a instalação do concentrador via rede primária.

3.7.3 - DIAGRAMA DE BLOCOS SIMPLIFICADO DA SUBROTINA DE CONFIRMAÇÃO DE CONCENTRADORES



3.8 - FASE DE ADIÇÃO DE CONCENTRADORES (FADIC)

Nesta fase serão testados os nós que possuem um POTE maior que a distância crítica DC e que não foram concentrados no estágio anterior. Também serão testados nós que receberam concentrador na fase de confirmação mas continuaram com o potencial econômico alto e não puderam ser testados novamente pois já tinham recebido um número de concentradores igual ao do estágio anterior.

A maneira adotada para a instalação de concentradores nesta fase guarda semelhança com a da anterior. Entretanto, aqui procuraremos fazer melhor uso do estoque.

3.8.1 - Nós Candidatos a Receber Concentrador

O critério da distância crítica continua valendo só que agora poderá ocorrer que seja usada a distância crítica DC1 em todos os estágios de planejamento, o que antes só ocorria na inicialização se não houvesse concentrador no ano base.

Então, se o estoque for positivo, serão candidatos todos os nós com $POTE > DC2$.

Se o estoque já estiver zerado o teste será feito com DC1.

3.8.2 - Análise da Instalação de Concentradores

A diferença fundamental entre as duas subrotinas está na análise da instalação de concentradores.

Aquí os concentradores serão instalados primeiro nos nós que irão propiciar o maior lucro, o que antes era feito nos nós de maior potencial.

O critério para se escolher entre instalar concentrador via rede primária ou cabo PCM continua o mesmo.

O processo de alocação consiste em analisar o candidato de maior potencial ligando-o a sua central através de um arco artificial. Em seguida executa-se o PFCM para achar o novo ótimo e calcular o lucro que este nó forneceria se aí fosse instalado um concentrador.

O cálculo deste lucro se faz da seguinte maneira:

Primeiramente calcula-se um custo diferencial (CD) onde

$$CD = C1 - (C2 + AIN)$$

onde

C1 = custo da rede sem o arco artificial

C2 = custo da rede com o arco artificial

AIN = custo de regeneradores mais cabo PCM

Em seguida, efetua-se a comparação entre CD e os custos de concentrador.

Os custos de concentrador variam de acordo com a tecnologia da central e o estoque existente. Isto é:

- CENTRAL DIGITAL

$$RID = 0,6 \text{ CCUR}$$

$$RSD = \text{CCUR}$$

onde:

RID = custo do concentrador para o caso de se ter UR no estoque

RSD = custo do concentrador para o caso do estoque ser igual a zero.

O esquema de comparação de CD é o da figura 3.14, onde ele poderá ocupar as posições (1), (2) ou (3).

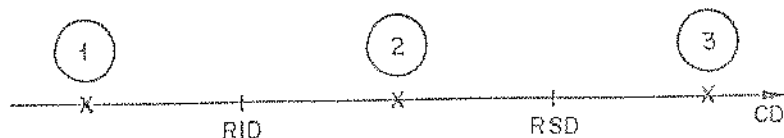


Fig. 3.14

Se CD estiver na posição (1), significa que o nó não dará lucro se for concentrado. Então será descartado do vetor de candidatos.

Para a posição (2) o nó dará lucro se existir uma UR no estoque, e para a posição (3) dará lucro qualquer que seja o estoque.

- Central Analógica

$$RIA = 0,6 \text{ CCUR} + 0,6 \text{ CCUC}$$

$$RMI = 0,6 \text{ CCUR} + \text{CCUC}$$

$$RMS = \text{CCUR} + 0,6 \text{ CCUC}$$

$$RSA = \text{CCUR} + \text{CCUC}$$

onde:

RIA = custo do concentrador para o caso de se ter UR e UC no estoque

RMI = custo do concentrador para o caso de se ter somente UR no estoque; a UC é nova

RMS = custo do concentrador para o caso de se ter só UC no estoque e se comprar UR

RSA = custo do concentrador para o caso de se comprar tanto a UR como a UC.

Assim CD poderá ocupar as posições (1), (2), (3), (4) ou (5) do esquema representado pela figura 3.15.

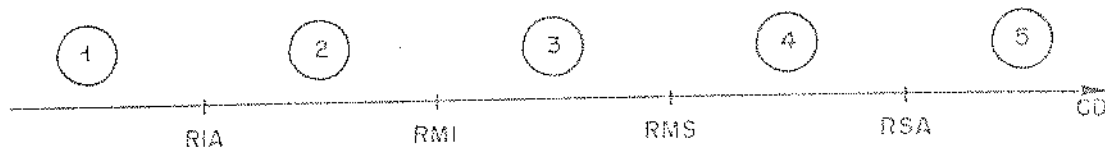


Fig. 3.15

Para CD em (1), o nó não dará lucro se for concentrado, portanto será descartado.

Para CD em (2), só haverá lucro se existir estoque de UR e UC.

Em (3), se existir estoque de UR.

Em (4), se existir estoque de UC, e em (5) qualquer que seja o estoque.

Uma vez calculado o CD, calcula-se o lucro que o nó propicia se for concentrado.

Este lucro varia de acordo com a posição que CD ocupa nos esquemas acima.

Suponhamos uma central analógica com o seguinte esquema (fig. 3.16):

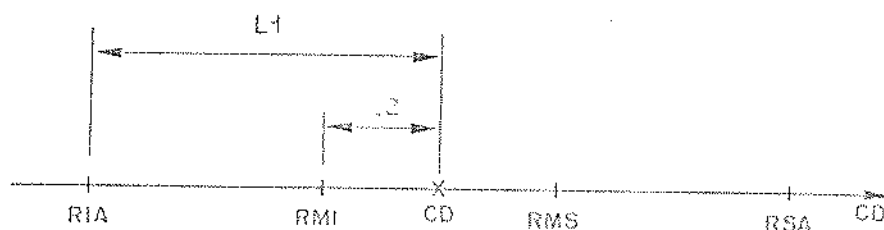


Fig. 3.16

Seja CD na posição marcada com x. O lucro será igual a L_1 se existir estoque de UR e UC, e será igual a L_2 se o estoque existente for somente de UR.

Depois de calculado o lucro, destrói-se o arco artificial e repete-se este procedimento para o próximo nó do vetor de candidatos, e assim sucessivamente até não haver mais candidatos.

Em seguida, escolhe-se o nó de maior lucro para se instalar o concentrador.

Se os próximos nós da lista de lucro pertencerem a zonas de filiação diferentes e o estoque de UR ou UC não tiver atin-

gido o valor zero, eles serão concentrados. A instalação de um concentrador provocará uma mudança no lucro dos nós que pertencerem à mesma zona de filiação que o nó concentrado. Esta alteração ocorrerá porque a alocação de um concentrador frequentemente atrai assinantes de nós com potenciais altos que estão nas suas imediações. Estes nós que tiveram seus assinantes atraídos podem estar fazendo parte do vetor de candidatos, mas na realidade seu potencial já foi baixado devido ao concentrador instalado na sua vizinhança.

Por este motivo, toda vez que um nó a ser concentrado pertencer a uma zona de filiação que teve seu potencial abaixado pela instalação de um concentrador vizinho, será necessário refazer o vetor de candidatos, eliminando assim os nós que estão com potencial baixo. Com isto ocorrerá uma alteração na lista de lucro que deverá ser refeita.

Se o valor do estoque atingiu um nível igual a zero também será necessário recalcular a lista de lucro, mesmo que o nó de maior lucro pertença a uma zona de filiação que não recebeu concentrador nesta etapa, pois o lucro foi calculado com base num estoque positivo.

A partir do momento que a lista de lucro é calculada com base no estoque igual a zero, esta só será atualizada quando repetir zona de filiação.

Esta política de instalar concentradores nos nós de maior lucro, independentemente da zona de filiação a que pertença, é um processo "guloso" que não analisa todas as combinações existentes para o uso de um determinado estoque, pois quaisquer outras alternativas propiciariam um lucro menor.

Vejamos um exemplo:

Seja o caso em que o estoque existente é de uma UR e uma UC e analisemos a situação para três nós: A, B e C.

O nó A é candidato a receber concentrador e pertence a uma zona de filiação analógica. O seu valor de CD está mostrado na figura 3.7.

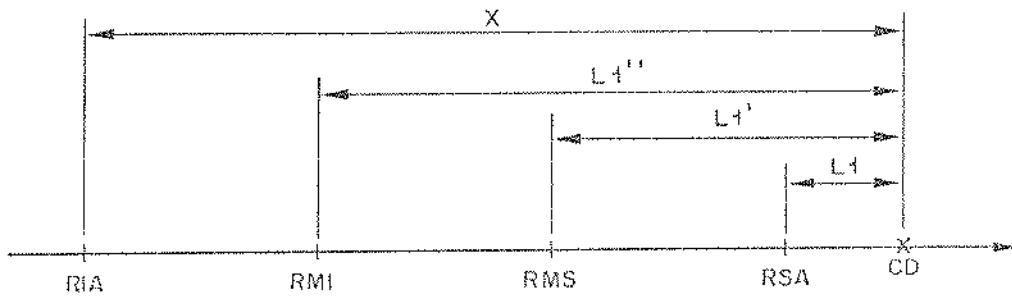


Fig. 3.17

Este n \tilde{o} proporcionar \tilde{a} um lucro X se utilizar o estoque de UR e UC, $L1''$ se usar somente a UR do estoque, $L1'$ se usar s \tilde{o} a UC ; $L1$ se n \tilde{a} o utilizar nenhum equipamento do estoque.

Suponhamos que o n \tilde{o} B tamb \tilde{e} m seja candidato e que pertença a uma zona de filia \tilde{c} o \tilde{a} anal \tilde{o} gica, com um valor de CD como mostrado na figura 3.18.

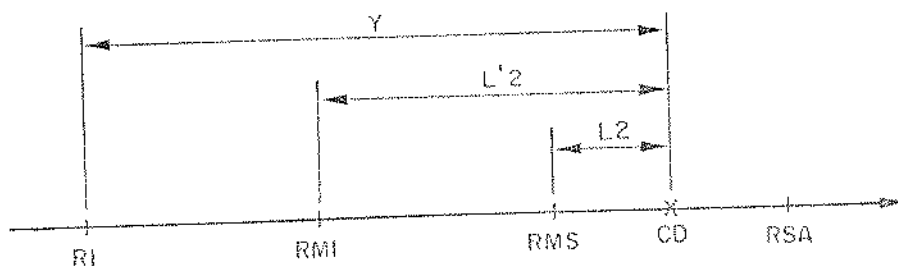


Fig. 3.18

Assim se utilizarmos os dois equipamentos do estoque (UR+UC) o lucro será Y, se usarmos a UR o lucro será L'2 e se utilizarmos o UC será L2.

Vejamos agora na figura 3.19, a posição de CD relativa ao nó C, de uma zona de filiação também analógica.

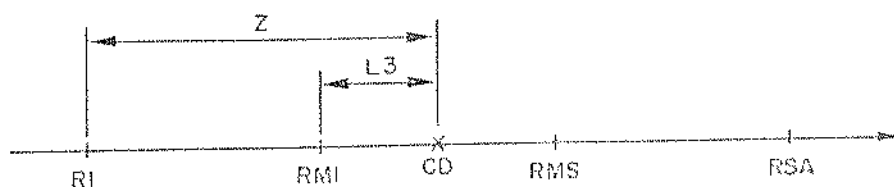


Fig. 3.19

O lucro será Z para a utilização de UR e UC do estoque e L3 para a utilização da UR.

Como a lista de lucro leva em conta a utilização do estoque existente ela será da seguinte maneira:

<u>NÓ</u>	<u>LUCRO</u>	<u>USO DO ESTOQUE</u>
A	X	UR + UC
B	Y	UR + UC
C	Z	UR + UC

De acordo com o nosso processo de alocar concentrador em nós de maior lucro, para o exemplo em questão, a instalação se dará no nó A. O lucro proporcionado será x e o estoque atingirá o valor zero.

Se fôssemos analisar todas as combinações existentes para o uso deste estoque, teríamos nove alternativas diferentes. Destas, as de lucro Y e Z estão descartadas pois logo de início perdem para X.

Restam portanto sete alternativas para serem analisadas, como mostrado abaixo:

Alternativas	Instalação de Concentrador			Lucro
	A	B	C	
1	$UR_E + UC_E$	-	-	x
2	$UR_N + UC_E$	$UR_E + UC_N$	-	$L_1' + L_2'$
3	$UR_N + UC_E$	-	$UR_E + UC_N$	$L_1' + L_3$
4	$UR_E + UC_N$	$UR_N + UC_E$	-	$L_1'' + L_2$
5	$UR_N + UC_N$	$UR_E + UC_E$	-	$L_1 + Y$
6	$UR_N + UC_N$	-	$UR_E + UC_E$	$L_1 + z$
7	$UR_N + UC_N$	$UR_N + UC_E$	$UR_E + UC_N$	$L_1 + L_2 + L_3$

onde

UR_E - unidade remota do estoque

UR_N - unidade remota nova

UC_E - unidade central do estoque

UC_N - unidade central nova.

Prova-se que a primeira alternativa domina as demais, em termos de lucro.

Partindo da hipótese que $CCUR > CCUC$, de acordo com o esquema da figura 3.20.

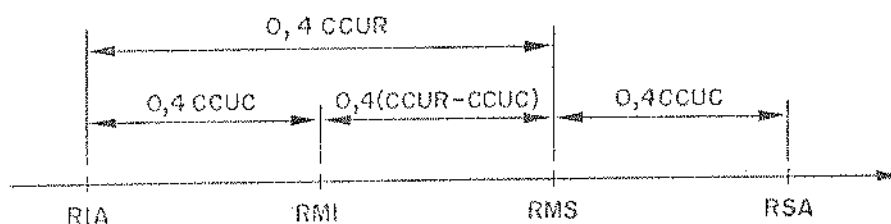


Fig. 3.20

o lucro da alternativa 1 é:

$$x = L_1 + 0,4 CCUC + 0,4 CCUR$$

Assim como, o lucro das demais alternativas são os mostrados:

$$\begin{aligned} \text{Alternativa 2 - Lucro} &= L_1' + L_2' \\ &= L_1 + L_2 + 0,4 CCUR \quad \text{e } L_2 < 0,4 CCUC \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Alternativa 3 - Lucro} &= L_1' + L_3 \\ &= L_1 + L_3 + 0,4 CCUC \quad \text{e } L_3 < 0,4 CCUR \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Alternativa 4 - Lucro} &= L_1'' + L_2 \\ &= L_1 + L_2 + 0,4 CCUR \quad \text{e } L_2 < 0,4 CCUC \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Alternativa 5 - Lucro} &= L_1 + y \\ &= L_1 + 0,4 CCUR + L_2 \quad \text{e } L_2 < 0,4 CCUC \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Alternativa 6 - Lucro} &= L_1 + z \\ &= L_1 + 0,4 CCUC + L_3 \quad \text{e } L_3 < 0,4 CCUR \end{aligned}$$

Alternativa 7 $\hat{=}$ Lucro = $L_1 + L_2 + L_3$

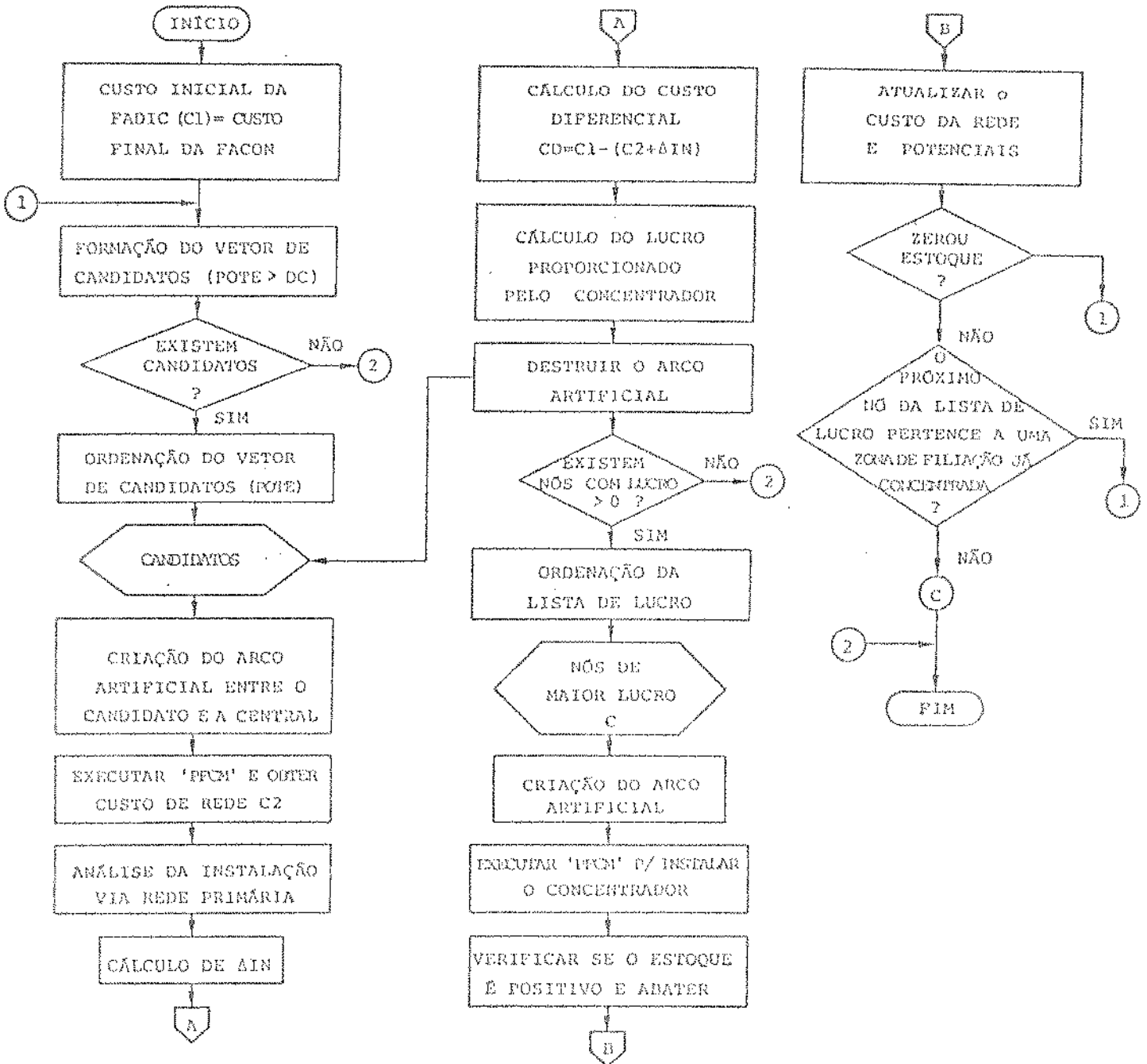
onde $L_2 < 0,4 \text{ CCUC}$

$L_3 < 0,4 \text{ CCUR}$

Comparando o lucro da primeira alternativa com as demais, observamos que é o maior.

Com isto qualquer das alternativas que proporcionem distribuição do uso dos equipamentos em estoque, acarretam em lucros menores.

3.8.3 - DIAGRAMA DE BLOCOS SIMPLIFICADO DA FASE DE ADIÇÃO



3.9 - O PRIMEIRO ESTÁGIO DE PLANEJAMENTO OU INICIALIZAÇÃO

A alocação de concentradores no primeiro estágio de planejamento é um caso especial.

De maneira geral o estoque para este estágio é zero. Então, a alocação dos concentradores será feita através da subrotina FACON, que fará o papel da FADIC, isto é, adicionará concentradores na rede.

Optou-se por fazer a inicialização através da FACON porque esta é uma subrotina mais rápida e como o estoque é zero, não tem sentido fazer a instalação no nó de maior lucro.

Pode ocorrer, entretanto, de já existir concentrador instalado na rede no ano base e neste caso o estoque na inicialização será igual ao número de concentradores já existentes. Para este caso, a alocação será feita do mesmo modo que nos demais estágios, isto é, passará pela FACON e depois FADIC.

3.10 - ASPECTOS COMPUTACIONAIS

O programa PALCO DINÂMICO, está concebido como uma subrotina do programa PEOR. Por este motivo, ele examina a instalação de concentradores em cada estágio, estudando conjuntamente todas as zonas de filiação.

3.10.1 - Dados de Entrada

Visto que o PALCO DINÂMICO é uma subrotina do PEOR, os arquivos de dados são os mesmos do PEOR com exceção de um arquivo específico.

Neste arquivo devem ser fornecidas informações gerais sobre a rede e os equipamentos de concentração, tais como:

- tecnologia das centrais
- custo do concentrador
- custo do regenerador
- capacidade do concentrador

- custo do par-metro de cabo PCM 30 canais
- número de cabos PCM necessários ao concentrador
- distância entre regeneradores
- distância crítica, calculada com base nos dados acima.

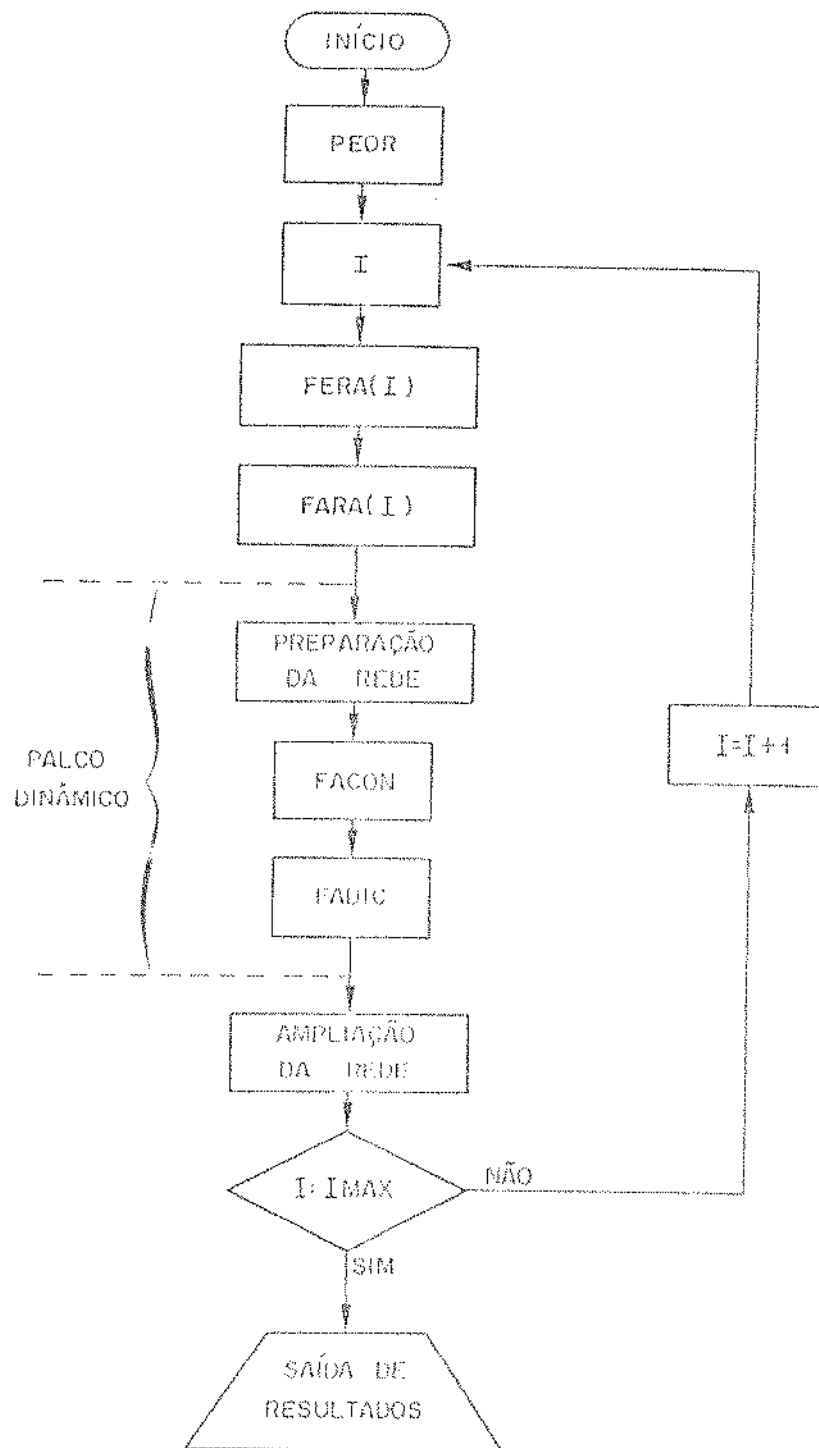
3.10.2 - Dados de Saída

O relatório de saída nos fornece a cada estágio:

- nós com concentrador
- estação a que o nó concentrado está filiado
- custo da rede sem concentrador
- custo da rede com concentrador
- lucro proporcionado pela instalação do concentrador
- custo fixo acumulado dos equipamentos de concentração
- número de pares de regeneradores utilizados
- tipo de ligação entre o concentrador e a central
- porcentagem de economia gerada pelo concentrador em cada zona de filiação
- porcentagem de assinantes atendido pelo concentrador em cada zona de filiação.

além das saídas do PEOR.

3.10.3 - Diagrama de Blocos Simplificado do PALCO DINÂMICO para um estágio I.



3.11. APLICAÇÃO A UMA REDE REAL

A seguir, será apresentado o teste com o programa PALCO DINÂMICO, realizado sobre a rede de Curitiba. Este teste faz uma avaliação da introdução de concentradores partindo da rede existente em 1985 até o ano 2000.

O período de planejamento foi dividido em 3 subperíodos, com estágios em 1985, 1990, 1995 e 2000, sendo que o primeiro deles é o chamado ano base de planejamento e portanto não é otimizado.

Dentro deste contexto, obtém-se através dos programas LOCUS e CRONOS [10] o chamado cenário analógico para a rede de Curitiba. Este cenário apresenta 10 estações no ano base, as mesmas 10 no ano de 1990 e 6 novas estações a partir de 1995.

Para a realização deste teste, considerou-se:

- custo da unidade remota do concentrador
CCUR: Cr\$ 238095 . 10³
- custo da unidade central do concentrador
CCUR: Cr\$ 238095 . 10³
- capacidade do concentrador: 192 assinantes
- custo do cabo PCM: Cr\$ 1984/par-metro
- custo do cabo telefônico: Cr\$ 516/par-metro
- custo do cabo telefônico + duto: Cr\$ 595/par-metro
- número de pares PCM necessário para ligar o concentrador à central: 6
- distância entre regeneradores: 1100 m
- custo do regenerador; o custo dos regeneradores relativos ao primeiro concentrador instalado no nó leva em conta o custo de uma caixa para abrigar os mesmos. Deste modo, o custo dos equipamentos de regeneração

é de: Cr\$ 17182 . 10³ e Cr\$ 4.167 . 10³ respectivamente para o primeiro e demais.

- distância crítica para ligar o concentrador à central analógica:
 - via cabo PCM : DC1(1) = 4900 m
 - via rede primária: DC1(1) = 4550 m
- distância crítica para ligar o concentrador à central analógica considerando o estoque:
 - via cabo PCM : DC2(1) = 2500 m
 - via rede primária: DC2(1) = 2300 m

Os menores valores de distância crítica são as da instalação via rede primária, portanto estes foram as utilizados.

A base de custos adotada é referente à abril/85. Na época, o valor do dolar era de Cr\$ 5000 e da ORTN Cr\$ 34 167.

Uma vez executado, o programa PALCO DINÂMICO alocou 78 concentradores em 1990 e os manteve até o ano 2000 distribuídos conforme a Tabela 3.1.

Nº DE CONCENTRADORES INSTALADOS	Estágio 2 1990	Estágio 3 1995	Estágio 4 2000
Fase de Inicialização	78	-	-
FACON	-	29	76
PADIC	-	49	2
TOTAL	78	78	78

Tabela 3.1 - Número de concentradores alocados em cada estágio

Podemos observar que dos 78 concentradores instalados em 1990, cerca de 29 foram confirmados pela FACON nos mesmos nós, e 49 foram realocados em nós diferentes. Isto ocorreu devido à entrada de 6 novas estações na rede, fazendo com que se abaixassem as potenciais dos nós que estavam em lugares próximos aos pontos onde foram instaladas as centrais.

No ano 2000 a FACON confirmou 76 dos 78 concentradores que estavam no estoque. Como não houve entrada de centrais novas na rede, só dois concentradores sobraram para serem realocados pela FADIC, devido a uma mudança de zona de filiação.

Apesar de ter sido considerada a hipótese de se instalar concentradores através da rede primária, neste teste isto não ocorreu, pois não se encontrou nenhuma rota, ligando o nó concentrado à central, com seis pares de fios a custo zero.

Estão representados nas Figs. 3.21, 3.22 e 3.23 os nós que foram concentrados em cada estágio. O número ao lado de cada nó indica quantos concentradores recebeu.

O anexo 1 apresenta uma listagem resumida dos resultados obtidos com o PALCO-D para este teste.

A Tabela 3.2, a seguir, apresenta custos de duas políticas de planejamento: uma sem a utilização de concentradores e outra com a implantação deles através do PALCO-D. As economias observadas também são registradas nesta tabela.

Como era de se esperar, a Tab. 3.2 nos mostra que a instalação de concentradores faz com que diminua a quantidade de fios de cobre a ser adquirida em cada estágio, acarretando economia em termos de custos.

Analisando o estágio 2, observamos uma forte economia de rede (32,0%); contudo a economia monetária (4,9%) cai bastante quando se leva em conta os custos de equipamentos de concentração.

Observamos também que ao longo do período de planejamento a economia de rede em termos de fio de cobre vai diminuindo. Isto ocorre porque a entrada de 6 novas centrais e os 78 concentradores confirmados a partir de 1995, propiciam uma boa distri

	ESTÁGIO 2 - 1990			ESTÁGIO 3 - 1995			ESTÁGIO 4 - 2000		
	sem Concentrador	com Concentrador (PALCO-D)	Economia	sem Concentrador	com Concentrador (PALCO-D)	Economia	sem Concentrador	com Concentrador (PALCO-D)	Economia
Custo de rede	171.781	116.678	32,0%	85.024	73.849	-	70.489	65.302	-
Custo de rede + Equipamento de Concentração	171.871	163.347	4,9%	85.024	78.838	-	70.489	65.866	-
Valor presente do Estágio	97.473	92.688	4,9%	27.375	25.365	-	12.878	12.033	-
Valor presente Acumulado	97.473	92.688	4,9%	124.848	118.072	5,4%	137.727	130.105	5,5%
Fio de cobre a adquirir. Acumulado (par.km)	288.708	196.097	32,0%	431.606	320.213	25,8%	550.075	429.964	21,8%

OBS: . Custos e valor presente em 106 Cr\$

. Taxa de juros considerada + 12% aa

Tabela 3.2 - Custos das políticas de planejamento com e sem concentrador

buição dos centros de fios pela rede. Além disso, a entrada das centrais faz com que diminua o raio médio de atuação das mesmas. Com isto a rede torna-se menos suscetível a melhorias e a economia de pares de fios de cobre fica, mais brandas.

A economia total apresentada no final do horizonte de planejamento é de 5,5% em termos financeiros e de mais de 20% em termos de rede primária. Ressalte-se também o forte empenho dos concentradores num estágio de planejamento em que estejam ausentes novos centros de fios. Nesta situação, a presença dos concentradores pode ser um importante elemento para o lançamento racional de pares de fios, poupando altos investimentos iniciais em rede primária. No exemplo, é o caso do estágio 2, quando mais de 30% do total de pares de fios de cobre a serem adquiridos tornaram-se desnecessários com a presença do concentrador.

A nosso ver, estes fatos e resultados justificam uma reflexão sobre a adoção de uma política de instalação de concentradores, no planejamento da expansão de redes telefônicas urbanas.

A comparação prática entre o PALCO estático e o PALCO-D não será apresentada, pois os dois programas partem de concepções diferentes. Estas diferenças já se mostram grandes nas versões atual e antiga do programa PEOR, quais sejam:

- . O PEOR II, utilizado pelo PALCO-D, trabalha com zona de filiação aumentada, isto é, em alguns casos ele não executa repartição de ponto de controle [7], resultando em duas ou mais estações numa mesma zona de filiação. Já o PALCO estático recebe dados do PEOR I, que faz cortes de área tais que ocorra somente uma estação por zona de filiação.
- . O PEOR II considera custos de comutação de chamada e o PEOR I não.

Fora as diferenças entre as duas versões do PEOR, as diferenças entre os dois programas PALCO são maiores ainda, tais como:

- . O PALCO estático não considera estoque, e o PALCO-D considera.
- . Devido a não interação entre o PEOR I e o PALCO estático (vide Fig. 2.1, Cap. 2), esta parte de uma rede irreal para proceder a alocação dos concentradores a partir do segundo estágio de planejamento, uma vez que não considera a economia de rede obtida pela alocação de concentradores no estágio anterior. Já o PALCO-D leva sempre em conta a economia de fios obtida no período anterior, uma vez que interage com o PEOR II.

A comparação prática entre os dois programas não é impossível, mas demandaria um trabalho muito grande, para que fossem feitos diversos ajustes entre os dois programas e seus auxiliares (como o PEOR), a fim de tornar viável uma comparação entre ambos.

Por outro lado, fica patente a necessidade de transferência de informação de um estágio a outro (caráter dinâmico do PALCO-D), notadamente nos casos em que ocorre forte utilização de concentradores num dado estágio, como no exemplo descrito.

O PALCO-D não é um programa muito rápido, uma vez que é executado juntamente com o PEOR II. No teste apresentado, o tempo de CPU (PEOR II + PALCO-D) foi de 8 min. e 32 seg.

▲ centrais do ano de 1990
 ▽ concentradores no ano de 1990

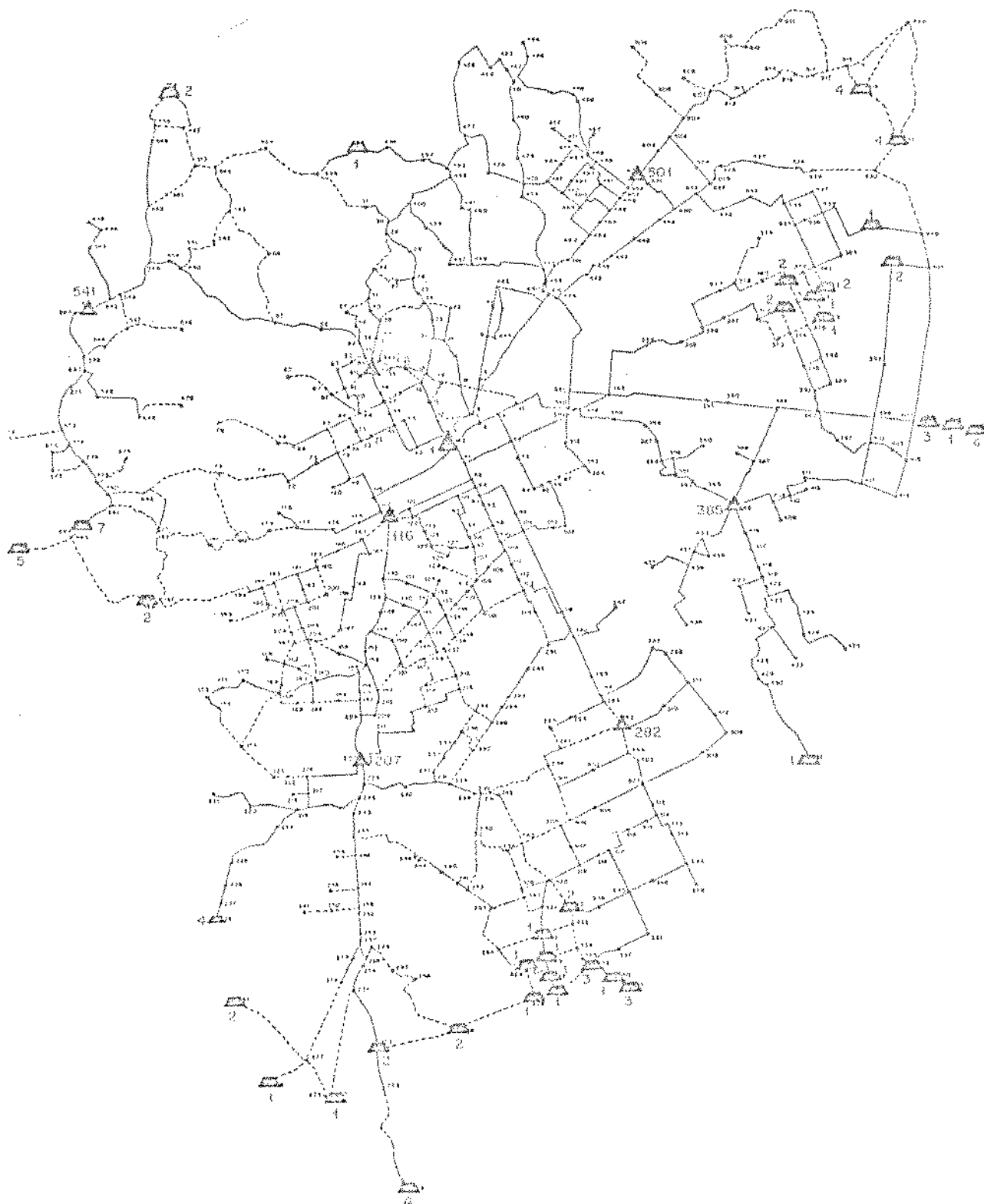


Fig. 3.21 - Representação dos nós que receberam concentradores no ano de 1990 (Inicialização)

△ centrais no ano 2000
 ▽ concentradores no ano 2000

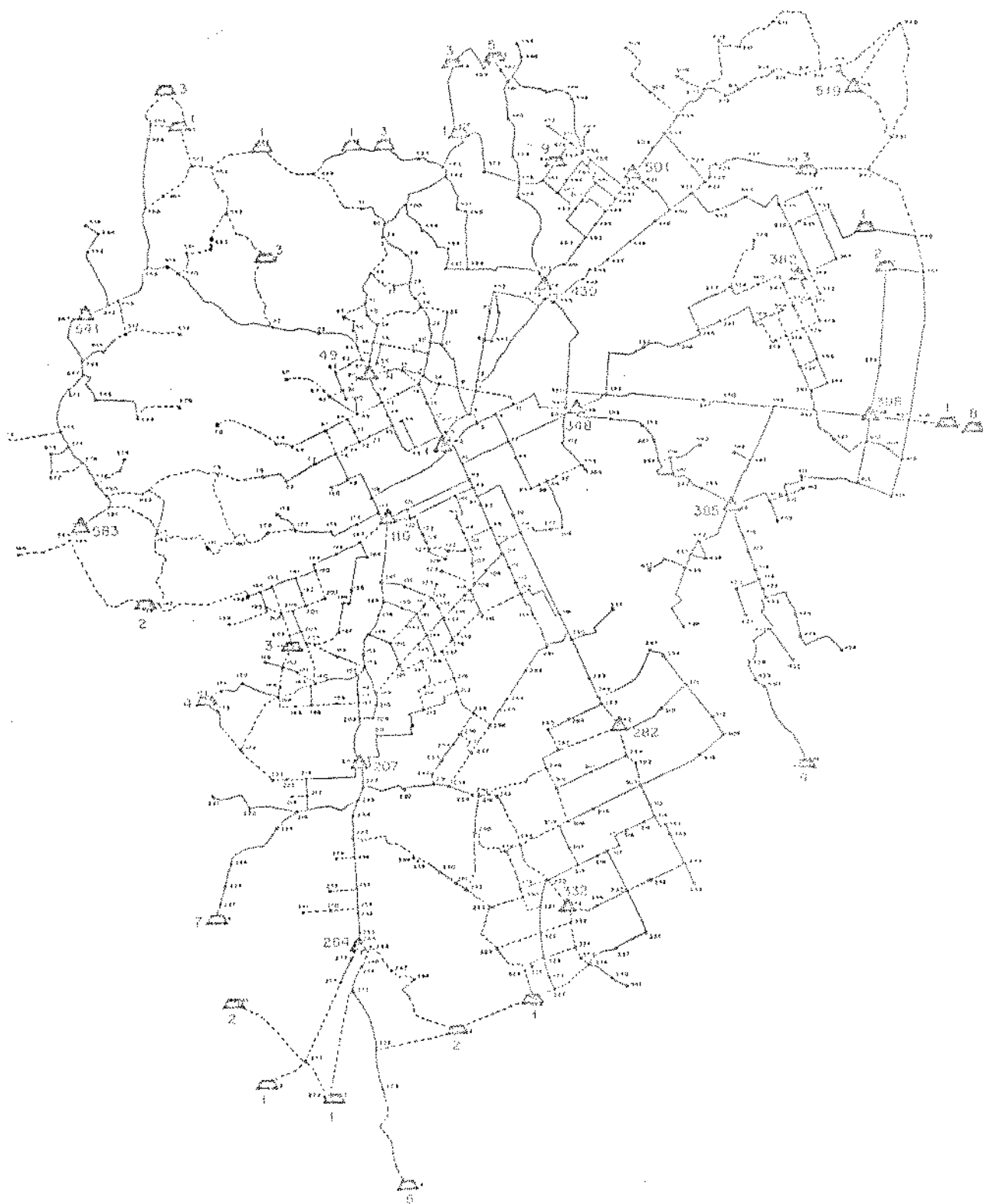


Fig. 3.23 - Representação dos nós com concentrador no ano 2000

CAPÍTULO 4

PROGRAMA INDICADOR DE CANDIDATOS A

CENTRO DE FIOS - NUVEM

4.1 - INTRODUÇÃO

Uma das dificuldades na execução do programa LOCUS [2] é encontrar bons candidatos a centrais para inicializá-lo, principalmente se o planejador não possui muita intimidade com a rede. O bom desempenho do LOCUS, bem como seu tempo de execução, depende muito dos candidatos que lhe são fornecidos.

O programa NUVEM vem cumprir o papel de identificar as regiões "caras" da rede onde possam vir a ser instaladas centrais ou estágios de linha remotos. Tem portanto o objetivo de fornecer bons candidatos aos programas LOCUS e ERAH.

O ERAH é um programa que fornece a fotografia do ano horizonte para estágios de linha remotos, e será tratado no próximo capítulo.

O programa NUVEM é um programa estático, uma vez que é executado somente para o ano horizonte.

4.2 - CONCEPÇÃO

Em sua concepção o NUVEM foi dividido em três fases.

Na primeira faz-se a filiação dos assinantes do ano horizonte às centrais existentes no ano base. Para isso liberam-se as capacidades das centrais de maneira que estas possam absorver todos os assinantes.

O processo de filiação é feito de maneira ótima, pois aloca os pontos de controle às estações existentes por um critério de minimização do custo total de cabos, através de um

Programa de Fluxo de Custo Mínimo (PFCM).

Para que se possa obter as distâncias dos nós às estações, não é levado em conta a disponibilidade de fios existentes na rede no ano base. Com isso ocorre a formação de zonas de filiação, ou seja, só serão filiados a uma central os nós que estiverem próximos dela.

Na segunda fase é feito um rearranjo das ligações assinantes-estações, aproveitando a rede de cabos existentes no ano base e respeitando as zonas de filiação da fase anterior. Este rearranjo é feito através de uma nova rodada de PFCM.

Na terceira fase, processa-se a concentração de assinantes por meio de módulos de concentração que irão indicar as regiões caras da rede, de onde serão escolhidos os nós candidatos a centrais ou a estágios de linha remotos.

Esta última fase é feita através da subrotina ALOCA.

4.3 - A SUBROTINA ALOCA

A subrotina ALOCA é a responsável pela alocação de módulos de concentração nos nós da rede. Estes módulos, quando alocados indicarão as regiões "caras" da rede e portanto propícias a conter um centro de fios.

Ao marcar no mapa da rede os nós que tiveram seus assinantes concentrados, formar-se-ão "nuvens" de concentração. Através da análise destas "nuvens", o planejador indicará sem dificuldades, nós candidatos aos programas LOCUS e BRAH.

Esta subrotina tem a mesma concepção que a fase de Inicialização do programa PFCO DINÂMICO, quando da ausência de concentradores no ano base. Entretanto, foram feitas algumas simplificações tais como:

- . trabalha-se somente com um valor de distância crítica, pois não se considera a tecnologia da central e a existência de estoque. Isto porque o programa é

executado somente para o ano horizonte e seu objetivo é fornecer candidatos ao LOCUS e ao ERAH;

- . ao invés de concentradores são utilizados módulos de concentração cuja capacidade é escolhida pelo planejador;
- . não se considera a alocação através da rede primária.

4.4 - IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL

Para implementar o procedimento que foi descrito é necessário dispor dos seguintes dados:

- . rede primária de dutos, incluindo as expansões possíveis para atender a demanda do ano horizonte;
- . disponibilidade de pares e ociosidade de dutos na rede primária do ano base;
- . localização das estações;
- . demanda de terminais por ponto de controle para o ano horizonte;
- . custo do par-metro de fios a ser instalado em duto já existente e a ser instalado em duto novo;
- . custo de comutação das estações;
- . custo do módulo de concentração;
- . custo de regeneradores;
- . custo do par-metro do cabo PCM;
- . distância entre regeneradores;
- . número de assinantes a ser concentrado pelo módulo;
- . distância crítica; e
- . número de cabos PCM necessários para a concentração.

O diagrama de blocos
simplificada a estrutura do NUVEM.

mostra de forma sim

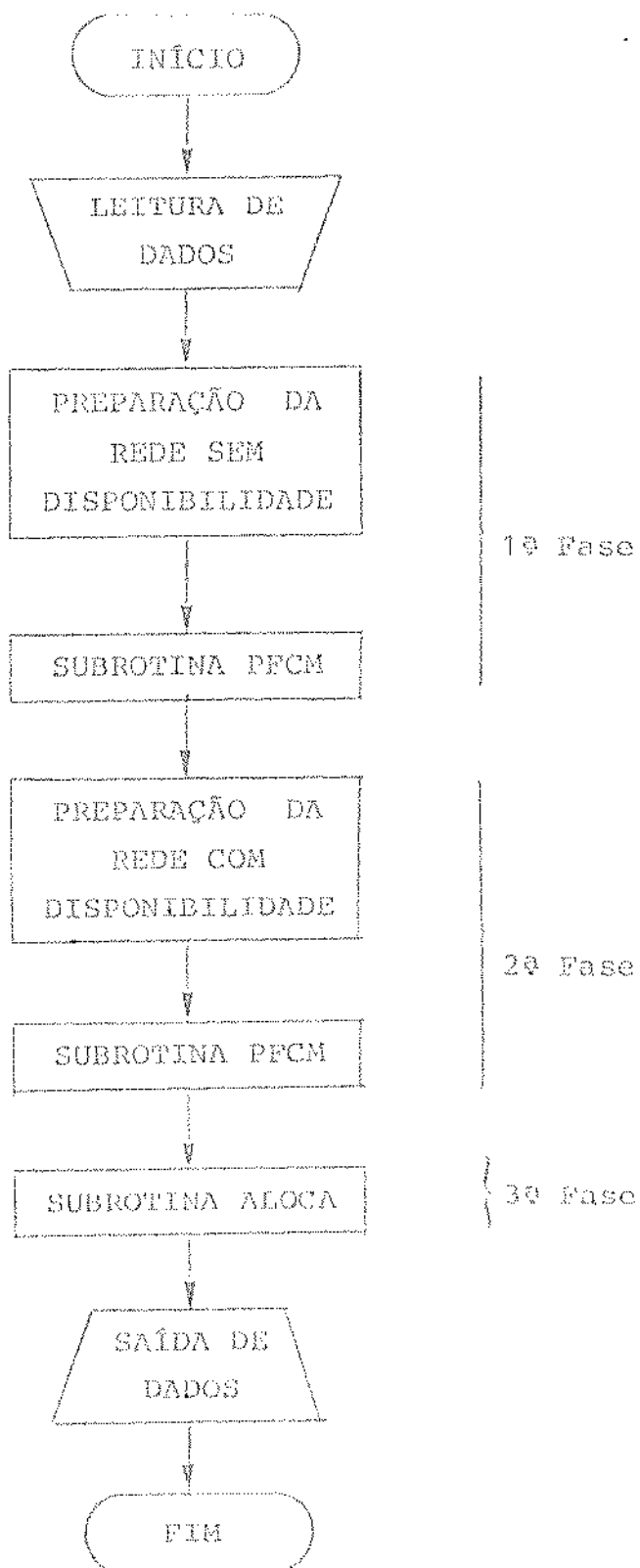


Diagrama de blocos do programa NUVEM

4.4.1. Descrição das Subrotinas

Subrotina PFCM

Dada uma rede com demanda nos nós e estações com capacidade de comutação, esta subrotina resolve um problema de fluxo de custo mínimo [3], atendendo aquelas demandas através de alocação dos assinantes às centrais.

Subrotina ALOCA

Já descrita no item 4.3.

4.5 - APLICAÇÃO A UMA REDE REAL

As aplicações feitas neste item referem-se à rede telefônica da cidade de Curitiba.

Escolheu-se esta cidade por se tratar de uma rede de médio porte e dada a disponibilidade de dados existentes.

4.5.1. O NUVEM como Indicador de Candidatos a Centrais

A utilização do NUVEM como indicador de candidatos a centrais deve ser feita levando-se em conta as disponibilidades de fios e centrais do ano base e a demanda do ano horizonte.

No cenário da rede de Curitiba existem 10 estações analógicas no ano base (1985). A demanda prevista para o ano 2005 (ano horizonte) é de 488.668 assinantes.

A localização das estações estão mostradas na Tabela 4.1.

ESTAÇÃO	Nº DO NÓ
1	001
2	116
3	439
4	348
5	282
6	207
7	541
8	385
9	501
10	49

Tabela 4.1 - Localização das centrais existentes no ano base

Considerou-se:

- . capacidade do módulo de concentração: 400 assinantes
- . custo do cabo PCM: Cr\$ 1.984,00/par-metro
- . custo do cabo telefônico: Cr\$ 516,00/par-metro
- . custo do cabo telefônico + duto: Cr\$ 595,00/par-metro
- . custo do módulo de concentração: Cr\$ 476.190.000,00
- . número de pares de cabo PCM necessários: 12
- . distância entre regeneradores: 1800 m
- . custo do 1º regenerador + caixa: Cr\$ 21.349.206,00
- . custo dos demais regeneradores: Cr\$ 8.333.334,00
- . distância crítica: 2250 ,

ORS: Cada par de cabo PCM, utiliza um regenerador, logo o custo de regeneradores já está multiplicado pelo número de cabos PCM.

A base de custos adotada é referente a abril/85. Na ocasião, o valor do dolar era de Cr\$ 5.000,00 e da ORTN, Cr\$... 34.167,00.

Uma vez executado, o programa alocou módulos de concentração em vários nós da rede.

A figura 4.1 fornece uma visualização destes nós. Os que foram concentrados estão marcados com um quadrado preto (■) e o número ao seu lado indica quantos módulos de 400 assinantes ele recebeu.

Pode-se observar que em alguns pontos da rede houve uma aglomeração de módulos, formando nuvens. Analisando cada uma destas nuvens em termos do número de assinantes concentrados, escolheu-se 22 nós candidatos a receber centrais. Manteve-se como candidatos aqueles com capacidade de ampliação.

A tabela 4.2 mostra os nós candidatos e a figura 4.2 fornece uma visualização destes nós no mapa da rede.

CANDIDATO	Nº DO NÓ
1	116
2	439
3	348
4	282
5	207
6	541
7	385
8	501
9	49
10	264
11	252
12	320
13	338
14	168
15	583
16	78
17	404
18	375
19	538
20	517
21	481
22	553

Tabela 4.2 - Nós candidatos a central.

Executando-se o programa LOCUS obteve-se a localização de 11 novas centrais e uma ampliação. A Fig. 4.3 fornece uma visualização destas centrais.

Comparando-se as Figs. 4.2 e 4.3 observamos que as novas centrais foram localizadas em pontos bem próximos e até mesmo coincidentes com os candidatos fornecidos pelo programa NUVEM. Isto vem comprovar a eficiência desta ferramenta para auxiliar na seleção de candidatos a centro de fios.

▲ centrais existentes

■ nós com módulos de concentração

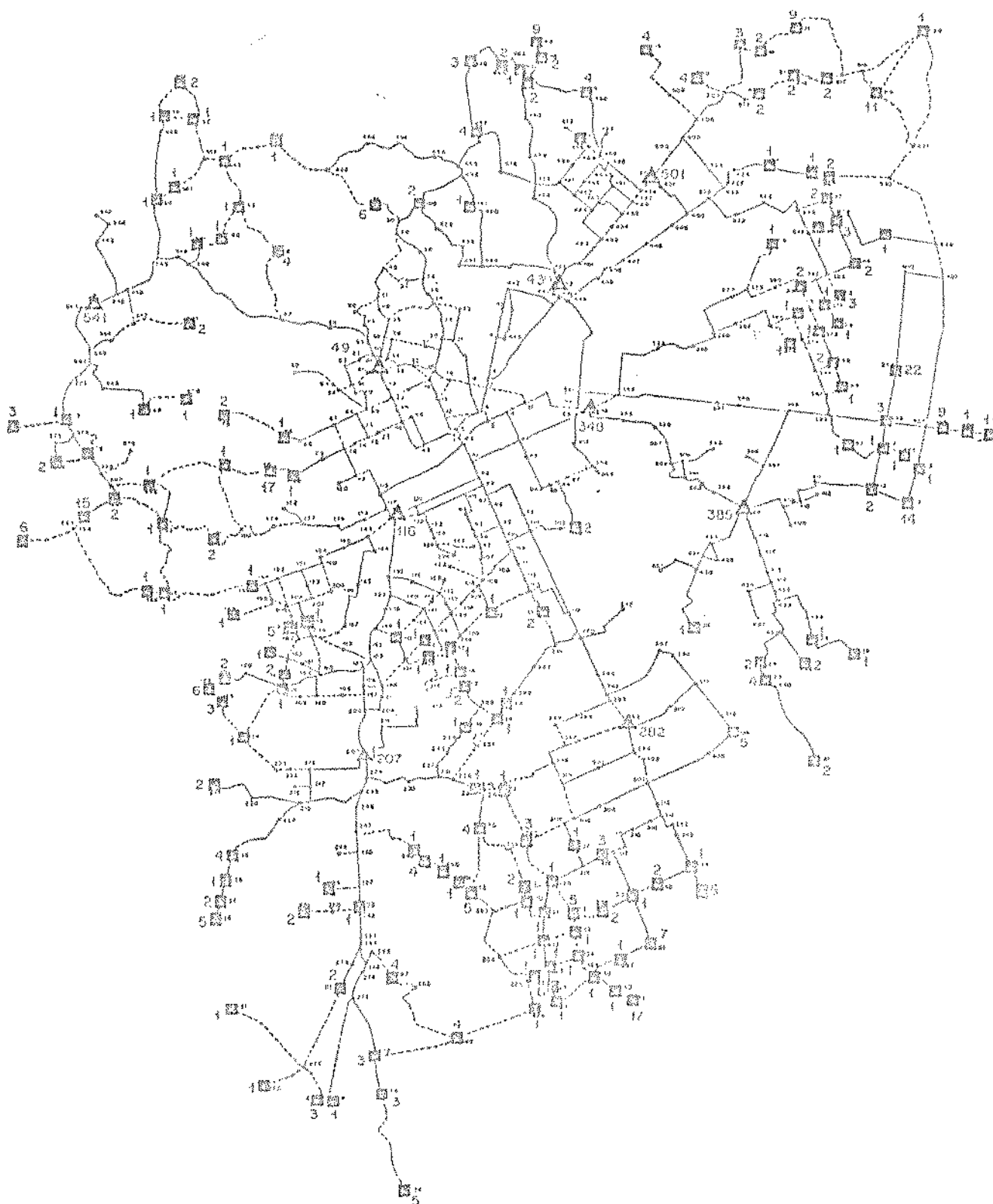


Fig. 4.1 - Representação de NUENS de concentração para escolha de candidatos a centrais

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

▲ centrais antigas candidatas a ampliação digital

● nós candidatos a centrais digitais

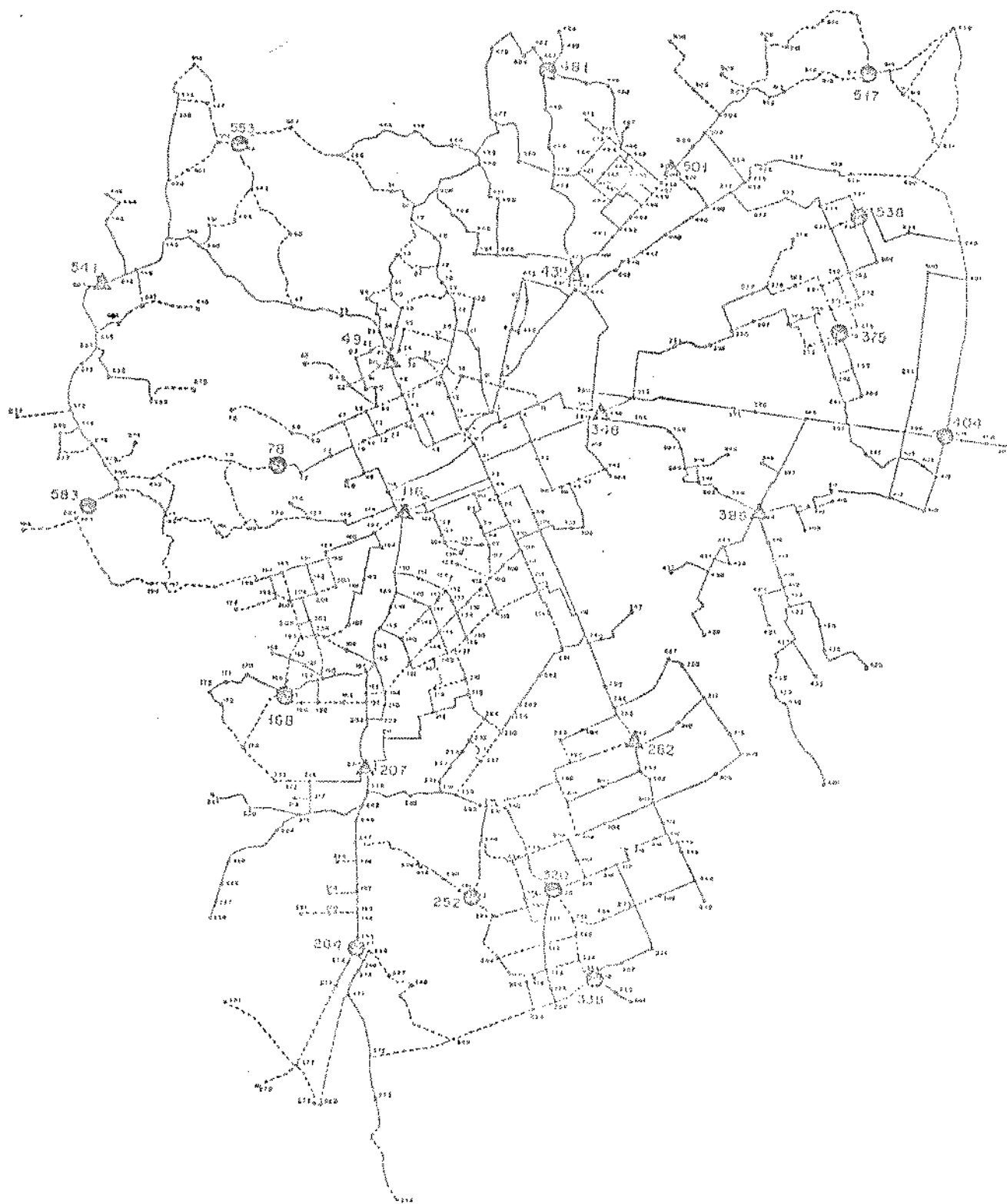


Fig. 4.2 - Nós candidatos a centrais, no horizonte de planejamento

▲ centrais antigas

⊗ centrais novas a serem implantadas no horizonte de planejamento

△ central antiga ampliada

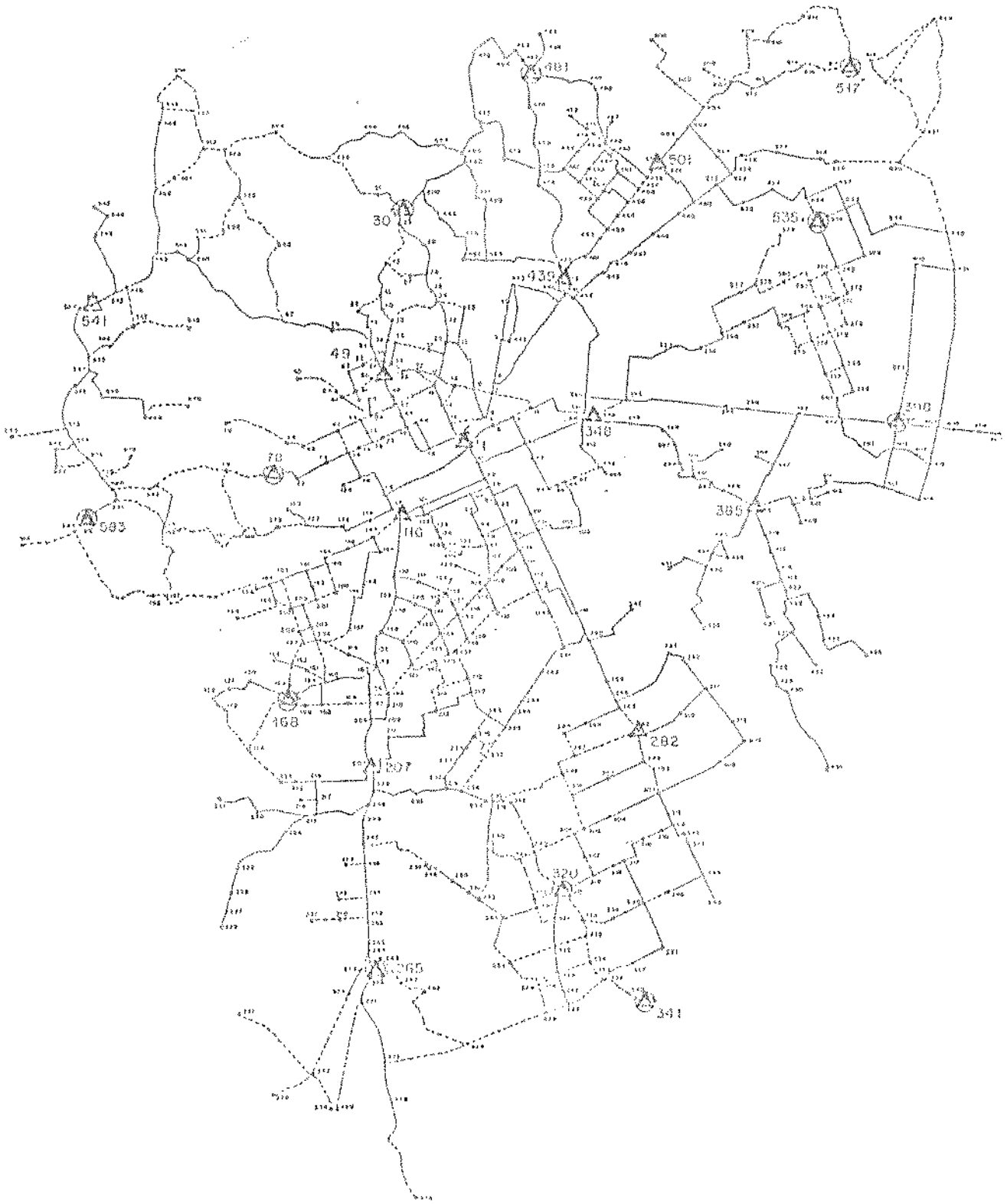


Fig. 4.3 - Centrais no horizonte de planejamento

4.5.2. O NUVEM como Indicador de Candidatos a ELR's

O NUVEM como indicador de candidatos a estágios de linha remotos deve ser executado levando-se em conta as disponibilidades de fios do ano base, as centrais e demandas do ano horizonte.

Agora todos os nós que forem concentrados podem, a princípio, ser candidatos a receber estágio de linha remoto.

A palavra final, se um nó receberá ou não estágio de linha remoto, será dada pelo programa ERAII.

A Fig. 4.4 mostra o NUVEM executado para a rede de Curitiba, considerando-se o cenário obtido pelo LOCUS.

Uma comparação entre as Figs. 4.1 e 4.4 mostra-nos que a entrada de centrais novas na rede faz com que ocorra uma diminuição de "nuvens", em quantidade e intensidade, o que está totalmente de acordo com o esperado.

Foram escolhidos como candidatos a ELR's, todos os nós que possuíam dois ou mais módulos de concentração. A representação destes nós está mostrada na Fig. 4.5. No próximo capítulo, através do programa ERAII, será mostrado quais deles receberam ELR's.

- ▲ centrais antigas
- ⊗ centrais novas
- ⊙ candidatos a ELR

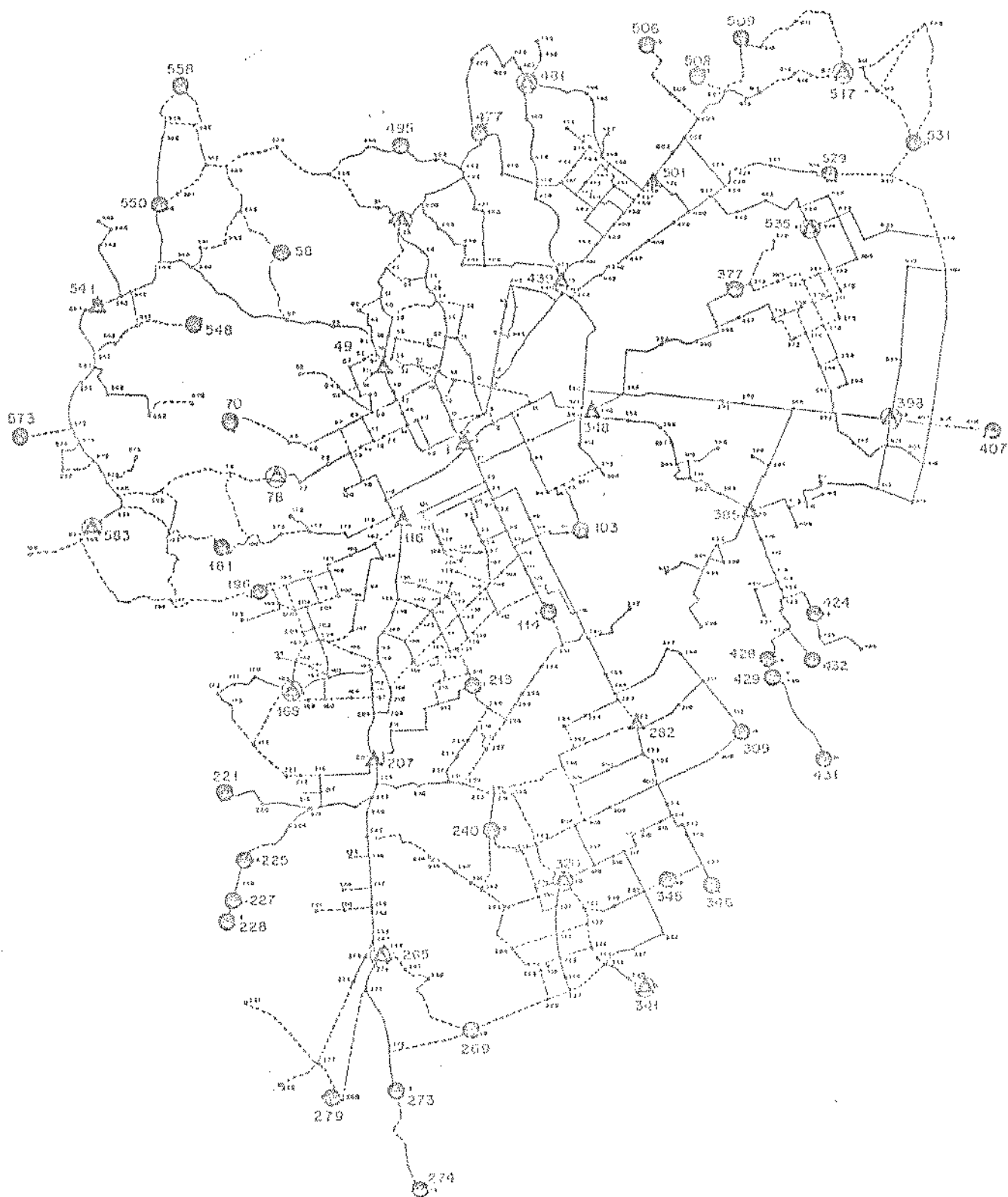


Fig. 4.5 - Representação dos candidatos a ELR's

4.5.3. Observações Finais

O anexo 2 apresenta uma listagem dos resultados comentados nos itens 4.5.1

O programa NUVEM tem se mostrado eficaz na indicação de candidatos a centrais e imprescindível na indicação de candidatos a estágios de linha remotos. Ele não só fornece as regiões caras da rede, isto é, regiões com alta densidade de assinantes e baixa disponibilidade de fios, como também dá uma idéia aproximada do número e dimensão dos novos centros de fios.

É interessante ressaltar que apesar dos programas LOCUS e NUVEM utilizarem métodos de resolução diferentes, as duas soluções são próximas.

O NUVEM é um programa rápido, contudo seu tempo de CPU varia com o número de nós, disponibilidades de fios e centrais existentes na rede. Na indicação de candidatos a centrais o seu tempo de CPU foi de 3 min. e 33 seg. e na indicação de candidatos a ELR's foi de 1 min. e 32 seg.

CAPÍTULO 5

PROGRAMA DE LOCALIZAÇÃO DE ESTÁGIOS DE LINHA REMOTOS

PARA O ANO HORIZONTE - ERAH

5.1. INTRODUÇÃO

Com a crescente digitalização do sistema telefônico urbano, é importante considerar o uso do estágio de linha remoto (ELR). Este equipamento é capaz de concentrar um certo número de assinantes, ligando-os até a central através de cabos PCM.

Diferentemente do concentrador comum, o ELR só pode ser filiado a centrais digitais.

Um dos problemas de se instalar ELR's numa rede telefônica advém do fato de o custo não ser muito baixo. Surge então a necessidade de se desenvolver uma ferramenta capaz de indicar em que pontos da rede existe viabilidade econômica para esta instalação.

O programa ERAH foi desenvolvido com a finalidade de buscar um compromisso ótimo entre economia de rede e custos associados à instalação do ELR.

5.2. ASPECTOS GERAIS DO ESTÁGIO DE LINHA REMOTO [11]

O ELR é um equipamento de concentração sem autonomia de encaminhamento. O encaminhamento de seus assinantes é feito através da central-mãe, criando-se assim uma dependência em relação à central. Por outro lado, o ELR fornece a seus assinantes todas as facilidades existentes na central-mãe.

O equipamento do ELR é composto de vários módulos de concentração. Aqui considerou-se equipamentos com no máximo quatro módulos de 1024 assinantes cada.

O emprego do ELR acarreta um acréscimo de equipamentos na central-mãe, com custo adicional. Este acréscimo está representado de forma simplificada nas Figs. 5.1 e 5.2.

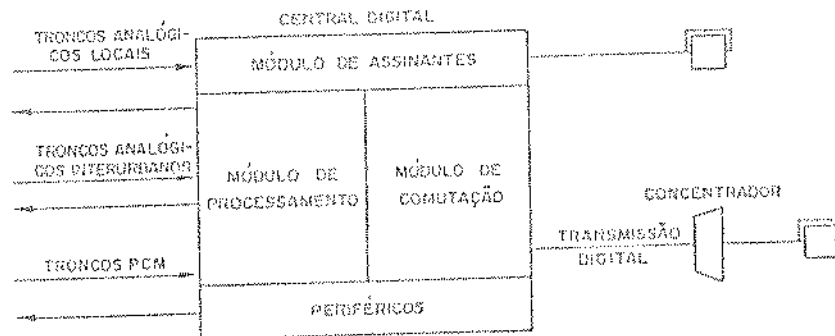


Fig. 5.1 - Atendimento convencional, através de uma central digital

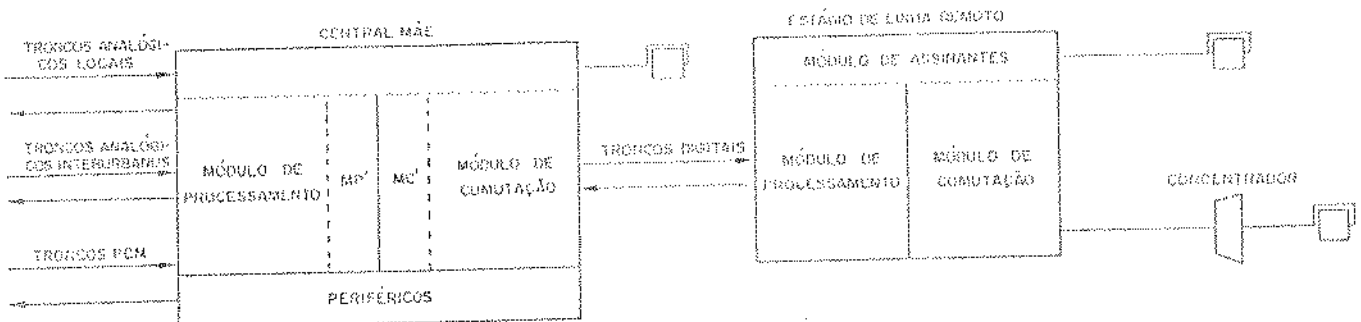


Fig. 5.2 - Atendimento através do ELR

MP' - acréscimo do módulo de processamento devido ao atendimento remoto

MC' - acréscimo do módulo de comutação

5.3. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

A partir da rede existente no ano base de planejamento o problema consiste em fornecer uma fotografia para o ano horizonte dos pontos da rede onde a relação benefício-custo, devido à instalação de estágio de linha remoto, é compensadora. Para solucionar-se este problema, faz-se as seguintes considerações:

- . não instalar ELR através da rede primária,
- . possibilitar a instalação de um ELR no prédio de uma estação analógica. Como a estação analógica não tem capacidade para comutar os assinantes do ELR, isto será feito pela central-mãe mais próxima através da rede de troncos já existente e que interliga todas as centrais. Então, o prédio da central analógica só funcionará como abrigo ao ELR,
- . de acordo com a consideração acima, o custo de entroncamento só leva em conta o custo de cabos PCM e regeneradores necessários para ligar o ELR até a central mais próxima, mesmo que esta seja analógica,
- . os ELR's não são removíveis de um local para outro ao longo do tempo, como acontece com os concentradores,
- . a instalação do ELR é feita modularmente, isto é, o módulo é colocado e testado, depois outro, e assim sucessivamente até atingir o número máximo de módulos,
- . o custo do primeiro módulo instalado é maior que dos demais, pois no primeiro considerou-se o custo de infraestrutura,
- . cada nó candidato pode receber um tipo diferente de ELR, de acordo com o desejo do planejador, isto é, pode-se instalar vários tipos (marcas) de ELR's numa mesma rodada do programa.

5.4. CONCEPÇÃO

Em sua concepção o programa ERAH foi dividido em quatro fases, a saber:

5.4.1. Fase de Seleção de Candidatos

Esta fase é realizado pelo programa NUVEM (Cap. 4), cujo critério de seleção leva em conta a distância crítica. No entanto, se o planejador desejar indicar algum candidato que não foi selecionado, terá inteira liberdade uma vez que os programas são totalmente independentes.

5.4.2. Fase de Cálculo das Distâncias entre os Candidatos e as Centrais mais Próximas

Nesta fase é determinada a distância entre os nós candidatos e as centrais mais próximas. Para tanto, executa-se um programa de fluxo de custo mínimo sem levar em conta a disponibilidade de fios existentes na rede.

A distância é necessária para se calcular o custo de entroncamento dos ELR's nos testes de localização; no entanto, vale ressaltar que a central em questão pode ser analógica, uma vez que o entroncamento entre esta e a central-mãe já existe, não sendo portanto necessário reconsiderá-lo.

5.4.3. Fase de Preparação da Rede

Nesta fase é feita uma preparação da rede para se iniciar o processo de localização de ELR's propriamente dito.

Aquí são criados os arcos de fechamento das centrais, levando-se em conta as capacidades das mesmas, bem como seus custos de comutação.

Os nós candidatos à localização de ELR, também são ligados ao nó de fechamento através de arcos. Estes arcos contêm o custo de comutação da central-mãe mais o custo variável do ELR. A soma destes dois custos é necessária porque, ao se ligar o ELR diretamente ao nó de fechamento, ocorre um desvio dos assinantes da central. Se assim não fosse feito, estes assinantes ficariam sem os custos de comutação referentes à central, o que não seria correto.

Vejamos um exemplo do que foi dito:

Seja um trecho de rede antes da instalação do ELR;

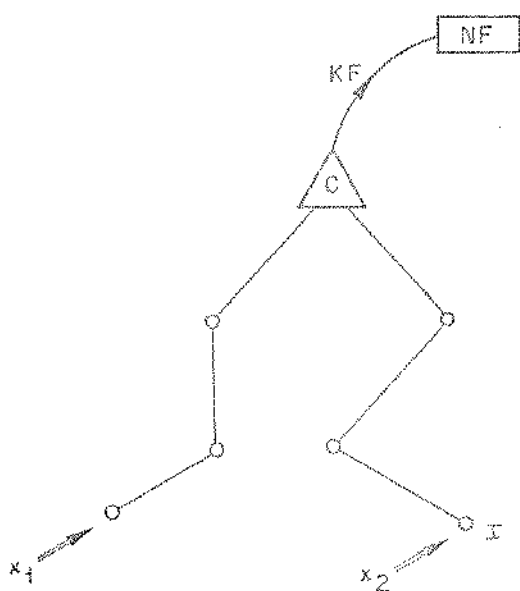


Fig. 5.3 - Representação de um arco de fechamento ligando a central ao nó de fechamento

os assinantes (x_2) que chegam no nó I estão fluindo ao nó de fechamento (NF) através da central (C). Deste modo, o custo de comutação referente à central está sendo computado, uma vez que isto é feito no arco de fechamento (KF).

Ao se instalar o ELR no nó I (Fig. 5.4) criando-se um arco de fechamento ligando-o diretamente ao nó de fechamento, os assinantes (x_2) não mais passarão pelo arco (KF) e sim pelo

arco (KF'). Deste modo, o custo de comutação de x_2 , referente à central C, precisa ser computado no arco (KF').

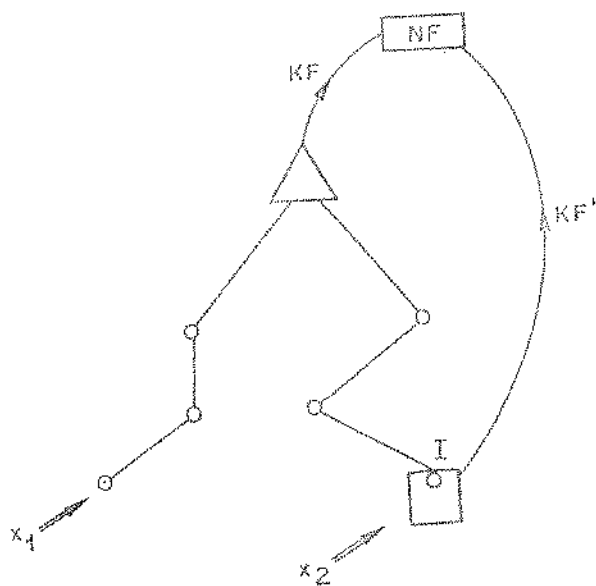


Fig. 5.4 - Representação dos arcos de fechamento ligando central e ELR ao nó de fechamento

Optou-se por ligar os ELR's diretamente ao nó de fechamento para que eles pudessem concentrar assinantes nas mesmas condições que as centrais, uma vez que a central-mãe ainda não está definida.

Depois de criados os arcos de fechamento, executa-se um programa de fluxo de custo mínimo levando-se em conta as disponibilidades de pares de fios existentes na rede no ano base, para obter-se o custo de rede sem ELR. Portanto, aqui os arcos de fechamento dos ELR's ainda estão com suas capacidades fixadas em zero.

5.4.4. Fase Iterativa

Nesta fase é feito um ajuste fino de maneira a se

confirmar ou não os nós candidatos a ELR.

O processo de confirmação é o seguinte:

Dentre os nós candidatos escolhe-se o de maior potencial e coloca-se um módulo. Executa-se um programa de fluxo de custo mínimo (PFCM), para se calcular o lucro fornecido pela instalação deste módulo. O arco artificial ligado este nó ao de fechamento terá capacidade igual à do módulo.

Se a variável que representa o fluxo no arco artificial estiver na base, o módulo será confirmado somente se o lucro for positivo. Se estiver no limite superior, um novo módulo deve ser adicionado, mesmo o lucro sendo negativo, pois tratando-se do primeiro módulo, pode ocorrer que, com a adição do segundo, o lucro passe a ser positivo. Isto ocorre porque o custo de se instalar o primeiro módulo é maior que o do segundo, uma vez que naquele se consideram custos de terreno, edificação, etc.

Adicionar um novo módulo significa aumentar a capacidade do arco artificial e executar novamente o PFCM partindo-se da solução ótima anterior. Isto feito, calcula-se o lucro atual.

Pode ocorrer que:

- o lucro atual seja positivo e maior que o lucro anterior. Neste caso, se o arco artificial estiver na base, o módulo é confirmado; do contrário um novo módulo deve ser adicionado.
- o lucro atual seja positivo e menor que o lucro do módulo anterior. Neste caso o módulo anterior é confirmado e recomeça-se o processo escolhendo-se um outro nó.
- o lucro atual seja negativo, mas o lucro do módulo anterior seja positivo. Então o módulo anterior é confirmado, recomeçando o processo com outro nó.
- o lucro atual e o anterior são negativos. Neste caso, o nó é descartado, não recebendo o ELR e o processo recomeça com outro nó.

5.6. ASPECTOS COMPUTACIONAIS

5.6.1. Dados de Entrada

O programa ERAII possui dois arquivos de entrada:

ARQUIVO 1 - Dados sobre Nós e Arcos da Rede

Para cada nó da rede este arquivo contém sua demanda no ano horizonte e o padrão do terreno em que está localizado.

Para cada arco da rede, é indicado o seu nó origem, nó destino, comprimento do arco em metros e número de pares de fios e dutos ociosos no ano base.

ARQUIVO 2 - Dados sobre a Rede e Centro de Fios

Este arquivo contém as seguintes informações:

- . número de nós, arcos, padrões de terreno, estações do ano horizonte.
- . custo do par-metro de fios a ser instalado em duto já existente e a ser instalado em duto novo.
- . localização e capacidade das estações.
- . capacidade de comutação já implantada nas estações.
- . capacidade de ampliação das estações.
- . custo de comutação das estações.
- . nós candidatos a ELR.
- . localização de cada candidato a ELR.
- . custo do metro quadrado do terreno referente a cada padrão existente.
- . área de terreno necessária à implantação de um ELR.
- . capacidade de cada módulo do ELR.
- . número máximo de módulos.
- . custo da caixa do regenerador.

- . custo de regeneradores.
- . custo de par-metro de cabo PCM.
- . distância entre regeneradores.
- . número de cabos PCM necessários para a instalação dos módulos.
- . custo fixo de implantação de cada módulo
- . custo de comutação do ELR.

O custo de implantação de um ELR, fora os custos de transmissão e terreno, podem ser colocados na forma $A + bT$, onde A e b são parâmetros e T é o número de terminais.

Aqui considerou-se A como sendo o custo fixo do ELR e b o custo variável total por assinante. Considerou-se custo de comutação do ELR como sendo:

$$BT = (b + c)T$$

onde c é o custo de comutação da central-mãe.

Como o ELR é modular, considerou-se o custo fixo A totalmente no momento da implantação do primeiro módulo; os demais módulos entrarão com custo fixo nulo.

5.6.2. Relatório de Saída

O relatório de saída fornece o nó que recebeu ELR, a estação mais próxima a ele, o número de módulos, o número de assinantes, o número de regeneradores a ser instalado, o custo da rede antes e depois da instalação do ELR, o custo da instalação do ELR e o lucro obtido com esta.

5.7. APLICAÇÃO A UMA REDE REAL

Depois de executado o programa NUVERM para a rede de

Curitiba e escolhidos os candidatos a ELR, executou-se o programa ERAH.

Através do NUVEM, foi possível escolher 37 candidatos, mostrados na Fig. 4.5 (Cap. 4).

O cenário da rede de Curitiba, fornecido pelo LOCUS, para o ano 2005 apresenta 21 centrais, sendo 9 analógicas, 1 mista e 11 digitais.

A seguir, serão apresentados os dois testes realizados com o programa. O anexo 3 apresenta as listagens computacionais relativas ao primeiro teste.

5.7.1. Teste 1

Para realizar este teste, considerou-se [11]:

- . custo fixo do ELR : Cr\$ 753.968.000,00
- . custo de comutação do ELR : Cr\$ 3.261.325,00
- . nº máximo de módulos de ELR : 4
- . capacidade de cada módulo : 1024 assinantes
- . número de pares PCM necessários para a instalação dos módulos:
 - 1 módulo 8 pares PCM
 - 2 módulos 12 pares PCM
 - 3 módulos 16 pares PCM
 - 4 módulos 20 pares PCM
- . custo do cabo PCM : Cr\$ 1.984,00/par-metro
- . área de terreno necessária à implantação de um ELR:
 - 360 m²
- . custo de um regenerador : Cr\$ 694.495,00
- . custo da caixa do regenerador : Cr\$ 13.015.873,00
- . distância entre regeneradores : 1800 m

OBS: A base de custos adotada é a mesma dos Caps. 3 e 4.

Neste teste o programa localizou ELR's em 30 nós. Estes estão mostrados na Fig. 5.6. O número ao lado de cada ELR indica o número de módulos instalados no nó.

O ERAH é um programa muito sensível a custos, pois uma variação nestes provoca resultados diferentes. Com o intuito de mostrar esta sensibilidade será apresentado outro teste.

5.7.2. Teste 2

Neste segundo teste, utilizou-se um equipamento ERIKSSON com os seguintes custos:

- . custo fixo : Cr\$ 249.893.000,00
- . custo de comutação: Cr\$ 4,683.126,00

Pode-se observar que o custo fixo deste equipamento é três vezes menor que o utilizado no primeiro teste e o custo de comutação é maior.

Agora o programa localizou somente 9 ELR's, descartando os 28 candidatos restantes. Os nós que receberam ELR's estão mostrados na Fig. 5.7.

Comparando-se os dois testes, pode-se observar que o custo fixo do ELR não pesou sobre o fato de se instalar ou não o mesmo; já o custo de comutação foi decisivo.

5.7.3. Observações Finais

O ERAH é um programa relativamente rápido. Com relação aos dois testes apresentados, os tempos de CPU's foram respectivamente 2 min e 20 segundos e 1 min e 63 segundos.

Uma das nossas apreensões era pelo fato de penalizar-se demais a instalação do primeiro módulo, colocando-se todo o

custo fixo do equipamento neste. Entretanto, vê-se que este problema não existe, uma vez que o custo variável é mais determinante na instalação que o custo fixo.

- ▲ centrais antigas
- ⊙ centrais novas
- ⚡ ELR's

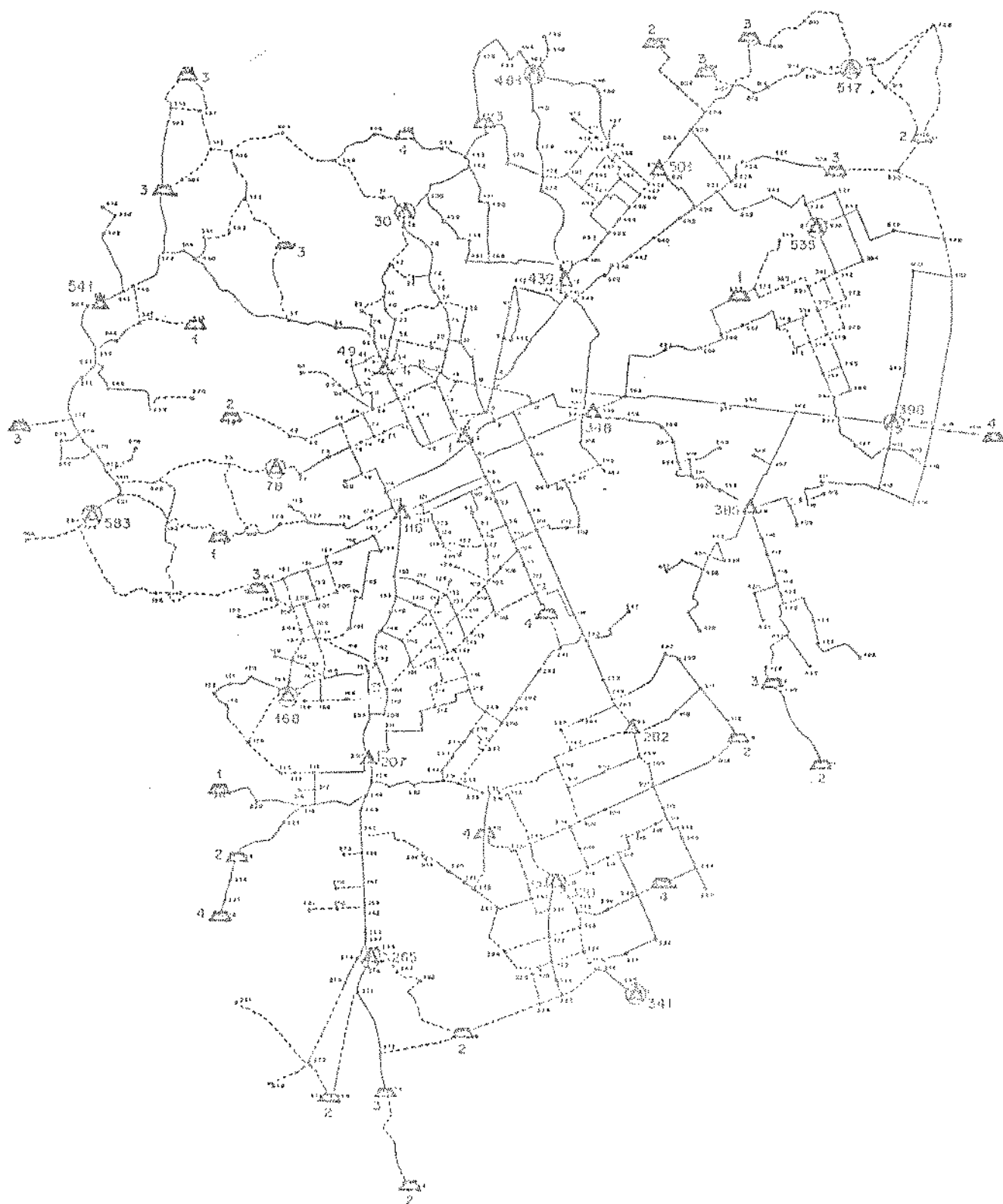


Fig. 5.6 - Representação dos nós que receberam ELR's no teste 1

- ▲ centrais antigas
- ⊙ centrais novas
- ⚡ ELR's

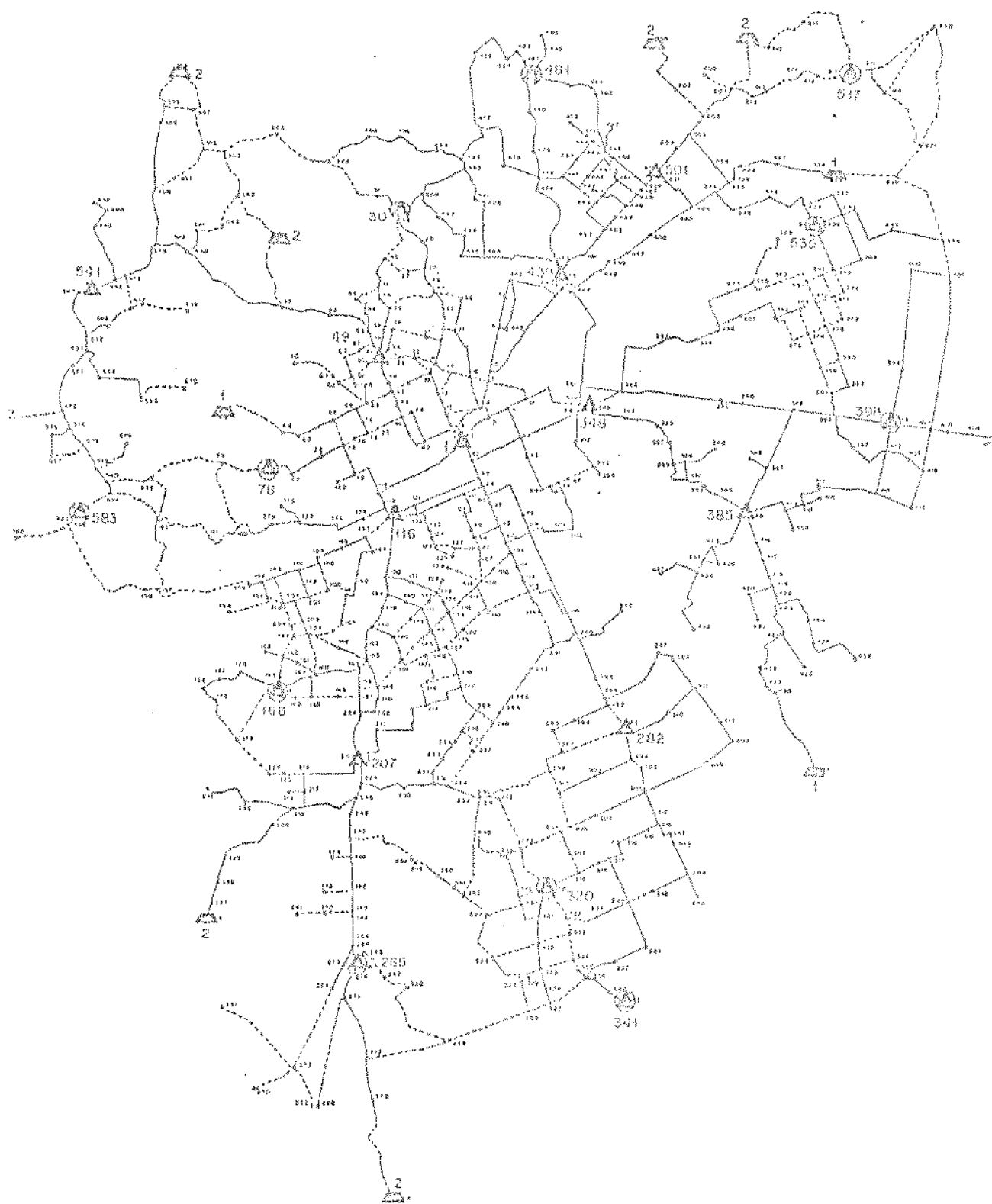


Fig. 5.7 - Representação dos nós que receberam ELR no leste 2

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES

6.1. O PROGRAMA PALCO DINÂMICO

A instalação de concentradores na rede telefônica não só resolve problemas de engenharia como também proporciona lucros (quando alocados em pontos ótimos), uma vez que retarda os investimentos em termos de fios de cobre. A grande vantagem de se retardar estes investimentos reside principalmente no fato deles poderem ser feitos numa rede cujo raio médio de atuação da central é menor (devido a instalação de centrais novas) e por conseguinte a quantidade de fios de cobre a ser adquirida será menor.

Dentro deste contexto, queremos ressaltar a importância do PALCO-D como ferramenta auxiliar no planejamento de redes telefônicas urbanas.

O PALCO-D atua a nível de pós-otimização, introduzindo concentradores na rede ótima fornecida pelo PEOR. A alocação de concentradores, em um estágio, é feita sempre levando-se em consideração a economia de fios de cobre obtida com a alocação dos mesmos no estágio anterior.

6.2. O PROGRAMA NUVEM

O Programa NUVEM se mostrou eficaz para o objetivo a que foi proposto, pois ele fornece as regiões da rede com alta densidade de assinantes e baixa disponibilidade de fios; portanto, regiões candidatas a centro de fios. Deste modo, o planejador escolherá acertadamente uma solução inicial para os programas LOCUS e ERAH.

Como a capacidade dos módulos de concentração é escolhida pelo usuário, pode-se alterá-la para obter-se nuvens mais ou menos compactas. Ressalte-se que a capacidade dos módulos não devem atingir valores muito grandes, por exemplo, acima de 1000 assinantes para que não se prejudique o caráter de pós-otimização do programa.

Além dos testes feitos com a rede de Curitiba, seria interessante que se testassem redes de topologias diferentes, como por exemplo uma rede litorânea, onde geralmente o formato é alongado.

6.3. O PROGRAMA ERAII

Os testes realizados com o programa ERAII, mostraram que ele é muito sensível a custos. Com isto, pode ocorrer que um nó seja descartado não pelo fato dele não ser um bom candidato, mas sim porque o custo do equipamento está muito alto. Um fator que se mostrou determinante, nos testes realizados, para a instalação ou não do ELR é o custo variável. Entretanto, estes mesmos testes nos mostraram que, para um mesmo valor de custo, um determinado nó pode ou não ser descartado dependendo da capacidade do ELR em questão. Isto é, este nó poderia ter sido contemplado com o equipamento caso sua capacidade fosse maior, pois assim aumenta-se a economia de rede proporcionada pela instalação do mesmo.

O ERAII foi testado muitas vezes na rede de Curitiba e como se pode ver (ite. 5.7, Cap. 5), com bons resultados.

Diante do fato da instalação do ELR proporcionar lucros, fica como sugestão de continuação deste trabalho, um programa que analise a hipótese do ELR retardar ou até mesmo eliminar a entrada de novas centrais na rede.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] FRAISLEBEN, F.; FRANÇA, P.M.; TAVARES, H.M.F.. Manual Técnico do PEOR - Programa de Evolução Otimizada da Rede, Relatório Técnico RT-37, contrato UNICAMP-TELEBRÁS 024A/83, Jan. 1985.
- [2] NAKAGAWA, J.M.; YAMAKAMI, A.; TAVARES, H.M.F.. Manual Técnico do Programa LOCUS II, Relatório Técnico RT-34, contrato UNICAMP-TELEBRÁS 024A/83, Dez. 1984.
- [3] NAKAGAWA, J.M.; YAMAKAMI, A.; TAVARES, H.M.F.. Refinamentos Computacionais no Algoritmo PFCM para Aplicação no Planejamento de Redes Telefônicas, Relatório Técnico RT-33, contrato UNICAMP-TELEBRÁS 024A/83, set. 83.
- [4] CARLSON F9, C.M.. Programa CONSYS - Verificador de Consistência de Redes, Relatório Técnico RT-24, contrato UNICAMP-TELEBRÁS 024A/83, Dez. 83.
- [5] KENNINGTON, J.L.; HELGASON, R.V.. Algoritmos for Network Programming, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1980 cap. 3, pp. 46-77.
- [6] TAVARES, H.M.F.; AQUINO, L.A.C.; FRANÇA, P.M. e LYRA F9, C. Planejamento de Redes Telefônicas Locais - Concepção e Ferramental, Revista Telebrás VIII.2, Junho 1984.
- [7] FRAISLEBEN, F.. Evolução Dinâmica de Cortes de Área em Redes Telefônicas Urbanas, Tese de Mestrado, UNICAMP/FEC/DEE, Maio 1984.
- [8] TELEBRÁS. Glossário de Termos Técnicos de Telecomunicações, Prática Telebrás, 201-100-001, 1978.
- [9] BASTOS MARTINI, M.R.. Planejamento de Centro de Fios: Programas GRONOS, PALCO e RELUZ, Tese de Mestrado UNICAMP/FEC/DEE, Outubro 1983.

- [10] CARLSON Fº, C.M.. "Cronograma de Implantação de Estações Telefônicas", Planejamento de Sistemas Telefônicos : Plano de Interligação e Cronograma de Implantação de Estações Urbanas, Tese de Mestrado, UNICAMP/FEC/DEE, Dez. 1984, parte II.
- [11] TAVARES, H.M.F.; FERNANDES, J.F.R.. Relatório sobre Custos de Centrais Analógicas e Digitais e de Estágios de Linha Remotos.

ANEXO 1

ANEXO 2

O PROGRAMA NUVEM COMO INDICADOR DE CANDIDATOS A CENTRAIS

NUVEM - PROGRAMA DE INDICACAO DE CANDIDATOS A CENTROS DE FIEIS

CARACTERIZACAO DA REGAO: CURITIBA - DENOMINACAO MISTO - 1993

ARQUIVOS GERADOS NA GERACAO DO RELATORIO

ARQUIVO DE NOME E AGENCIA = NOMEAG.001

ARQUIVO DE ENDEREZO = ENDEREZO.001

ARQUIVO DA ATIVIDADE = ATIVIDADE.001

DESCRICAO DO ARQUIVO DE DADOS GERADOS

ANO	799	800	801	802
1990	1991	1992	1993	1994
	120.00	195.00		
1	120.00			195.00
2	120.00			195.00
3	120.00			195.00
4	120.00			195.00
5	120.00			195.00
6	120.00			195.00
7	120.00			195.00
8	120.00			195.00
9	120.00			195.00
10	120.00			195.00

CARGO REPERECIDOS AL PROGRAMA

RESE

NUMERO ORIGINAL DE NDS	=	566
NUMERO ORIGINAL DE ARCS	=	744
NUMERO DE PERIODOS DE PLANEAMIENTO	=	4
NUMERO TOTAL DE ESTACIONES	=	14

COSTO DE PAR.UT DE CARGO	=	616.0000
COSTO DE PAR.UT DE CARGOSOTA	=	376.0000

TESTE DE EXISTENCIA DA REDE PLANETARIA

1 ANEXO DE NDS E ARCS E CONJUNTO :

EQUIPAMENTO DE CONCENTRADOR

COSTO DE REGENERADOR/CONJUNTO	=	2166700.00
COSTO DE SEGENERADOR	=	666334.00
ESPAORA DE PARES	=	400
DISTANCIA ENTRE REGENERADORES	=	1000
COSTO DO PAR.UT DE CABO PCM	=	1764.00
NUMERO DE PARES PCM NECESSARIOS	=	12

COSTO DO MODELO DE CONCENTRADOR	=	47610000.00
DISTANCIA ENTRE CONCENTRADORES	=	1000

FROGANDA NOVÉB

RELATÓRIO DE SAÍDA

FROGANDA NOVÉB					
RELATÓRIO DE SAÍDA					
MÊS DE SAÍDA = (1116)					
QUANTIDADE	UNIDADE	VALOR	VALOR	VALOR	
277	1	495			
176	1	406			
277	1	495			
176	1	406			
236	1	406			
7	1	406			
75	1	406			
151	1	806			
216	1	406			
TOTAL					
1776	16	1756			

#####

" " " "

F A B E L A S E L I T A E A O

" " " "

(SIAENS = 0(127))

" " " "

#####

" " " "

" NIS 001 " NIMEND 01 " NIMEND 02

" 000000 " 000000 " 000000

" " " "

#####

" 151 " 3 " 0 " 2000

" 144 " 4 " 0 " 1000

" 121 " 1 " 0 " 400

" 130 " 1 " 0 " 400

" 247 " 4 " 0 " 1000

" 245 " 1 " 0 " 400

" 260 " 1 " 0 " 400

" 187 " 4 " 0 " 1000

" 172 " 3 " 0 " 1000

" 139 " 4 " 0 " 1000

" 173 " 3 " 0 " 1000

" 174 " 3 " 0 " 1000

" 108 " 1 " 0 " 400

" 112 " 1 " 0 " 400

" 115 " 2 " 0 " 600

" 110 " 1 " 0 " 400

" 106 " 1 " 0 " 400

" 114 " 1 " 0 " 400

" 125 " 4 " 0 " 1000

" 103 " 1 " 0 " 400

" 127 " 2 " 0 " 600

" 118 " 3 " 0 " 1000

" 111 " 2 " 0 " 600

" 109 " 2 " 0 " 600

" 171 " 2 " 0 " 600

" 170 " 7 " 0 " 2000

" 173 " 3 " 0 " 1200

" 153 " 1 " 0 " 400

" 203 " 1 " 0 " 400

" 106 " 5 " 0 " 1000

" 137 " 1 " 0 " 400

" 140 " 1 " 0 " 400

" 161 " 1 " 0 " 600

" 160 " 1 " 0 " 400

" 159 " 1 " 0 " 400

" 175 " 2 " 0 " 600

" 177 " 2 " 0 " 1000

" 173 " 1 " 0 " 400

" 161 " 1 " 0 " 400

" 161 " 1 " 0 " 400

#####

" " " "

" " " "

#####

" " " "

" " " "

#####

" " " "

" NIS 001 " NIMEND 01 " NIMEND 02

" 000000 " 000000 " 000000

" " " "

#####

" 110 " 1 " 0 " 400

" " " "

" " " "

" 1 000 " 7 " 0 " 12000

#####

" " " "

" " " "

#####

" " " "

" " " "

#####

" " " "

" " " "

#####

" " " "

" " " "

#####

TABLE B.5: SCA					
SINUS = 5(30)					
NO. OF	NO. OF	NO. OF	NO. OF	NO. OF	NO. OF
NO. OF	NO. OF	NO. OF	NO. OF	NO. OF	NO. OF
400	1	400			
395	3	1200			
391	1	400			
405	1	400			
410	1	400			
415	14	5000			
413	2	400			
397	21	8000			
403	7	3000			
408	1	400			
407	11	4400			
397	1	400			
394	1	400			
396	1	800			
375	1	400			
371	1	400			
389	1	400			
376	1	400			
373	1	400			
402	1	800			
418	1	500			
417	4	1000			
411	1	400			
404	1	800			
403	1	400			
415	1	400			
405	1	400			
107510	55	55000			

ANEXO 3

PROGRAMA ERAH - TESTE 1

DADOS OPERACIONAIS DO PROGRAMA

 NOME

NUMERO ORIGINAL DE DMS = 588
 NUMERO ORIGINAL DE ARBOS = 794
 MULTIPLICADORA DE ARBOS = 1
 NUMERO TOTAL DE ESTADOS = 31
 NUMERO DE ESTADOS = 1
 CUSTO DO PAR-NT DE CASO = 514,0000
 CUSTO DO PAR-NT DE CASO-DITO = 275,0000

ORDEM	ESTACAO	CAPACIDADE DA CENTRAL	CONSUMIDOR INSTALADO	N DE RELOJOS	CUSTO DE CONSUMIDOR	CAPACIDADE DE RELOJOS	EXP. INTERIOR RELOJOS	CUSTO DESTACAO DA REPLICAO
1	1	25000	65000	0	1718070,00	0	0	0,00
2	11	50000	130000	0	1718070,00	0	0	0,00
3	12	30000	120000	0	1718070,00	0	0	0,00
4	245	20000	20000	0	1718070,00	0	0	0,00
5	100	10000	10000	0	1718070,00	0	0	0,00
6	200	30000	10000	0	1718070,00	0	0	0,00
7	111	10000	10000	0	1718070,00	1000	0	10,0000,00
8	300	20000	10000	0	1718070,00	0	0	0,00
9	111	10000	7000	0	1718070,00	0	0	0,00
10	11	20000	10000	0	1718070,00	0	0	0,00
11	315	0	0	0	0,00	30000	1000	10,0000,00
12	300	0	0	0	0,00	10000	1000	10,0000,00
13	300	0	0	0	0,00	70000	1000	10,0000,00
14	317	0	0	0	0,00	10000	1000	10,0000,00
15	31	0	0	0	0,00	20000	1000	10,0000,00
16	111	0	0	0	0,00	30000	1000	10,0000,00
17	311	0	0	0	0,00	20000	1000	10,0000,00
18	111	0	0	0	0,00	10000	1000	10,0000,00
19	111	0	0	0	0,00	10000	1000	10,0000,00
20	111	0	0	0	0,00	10000	1000	10,0000,00
21	315	0	0	0	0,00	10000	1000	10,0000,00

CANDIDATE A EMBREDO DE LINGUA ROMANA

DIARIO DE CANDIDATURAS - 37

DIARIO	NO CANDIDATURAS	GRUPO DA BY (CAND.)	QUOTA FOLIA E L R	CANDIDATURAS EM NOBRE	RESTO TRANSFER. ORA & QUOT. SIND. GERAL
1	103	300	70000000.00	1004	201000.00
2	104	300	70000000.00	1004	201000.00
3	105	300	70000000.00	1004	201000.00
4	106	300	70000000.00	1004	201000.00
5	107	300	70000000.00	1004	201000.00
6	108	300	70000000.00	1004	201000.00
7	109	300	70000000.00	1004	201000.00
8	110	300	70000000.00	1004	201000.00
9	111	300	70000000.00	1004	201000.00
10	112	300	70000000.00	1004	201000.00
11	113	300	70000000.00	1004	201000.00
12	114	300	70000000.00	1004	201000.00
13	115	300	70000000.00	1004	201000.00
14	116	300	70000000.00	1004	201000.00
15	117	300	70000000.00	1004	201000.00
16	118	300	70000000.00	1004	201000.00
17	119	300	70000000.00	1004	201000.00
18	120	300	70000000.00	1004	201000.00
19	121	300	70000000.00	1004	201000.00
20	122	300	70000000.00	1004	201000.00
21	123	300	70000000.00	1004	201000.00
22	124	300	70000000.00	1004	201000.00
23	125	300	70000000.00	1004	201000.00
24	126	300	70000000.00	1004	201000.00
25	127	300	70000000.00	1004	201000.00
26	128	300	70000000.00	1004	201000.00
27	129	300	70000000.00	1004	201000.00
28	130	300	70000000.00	1004	201000.00
29	131	300	70000000.00	1004	201000.00
30	132	300	70000000.00	1004	201000.00
31	133	300	70000000.00	1004	201000.00
32	134	300	70000000.00	1004	201000.00
33	135	300	70000000.00	1004	201000.00
34	136	300	70000000.00	1004	201000.00
35	137	300	70000000.00	1004	201000.00
36	138	300	70000000.00	1004	201000.00
37	139	300	70000000.00	1004	201000.00

REGENERACIONES DE CEMENTACION

.....

COSTO DE CADA UNO DE REGENERACIONES = 10410075.00
 COSTO DE REGENERACIONES = 27140187.50
 COSTO DE FAN-INT. DE CADA FAN = 1734.00
 DISTANCIA ENTRE REGENERACIONES = 1811
 NUMERO MAXIMO DE RODILLOS DE CADA = 4

NUMERO DE FANES DE CADA FAN REGENERABLE

NUMERO DE RODILLOS	NUMERO DE FANES
1	5
2	10
3	15
4	20

TESTE DE DIMENSIONES DA MREZ PERIFERICA

.....

¿ ARBOL DE MRS Y MREZ E CORRELATIVO ?

CONCLUSIONES

.....

LA CUBIJA DE CADA FAN DE LA MREZ PERIFERICA E CORRELATIVO DE CADA UNO DE LOS
 DE FANES DE REGENERACIONES COSTOS EN 1981 (MIL) CANTIDAD 2041.000.

