UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

UM ALGORITMO PARA ROTEIRIZAÇÃO COM RESTRIÇÕES DE TEMPOS DE VIAGENS E DE TRABALHO

LUIZ CARLOS RENZ

FLORIANÓPOLIS, AGOSTO DE 1994

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

UM ALGORITMO PARA ROTEIRIZAÇÃO COM RESTRIÇÕES DE TEMPOS DE VIAGENS E DE TRABALHO

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de Produção.

LUIZ CARLOS RENZ

FLORIANÓPOLIS, AGOSTO DE 1994

UM ALGORITMO PARA ROTEIRIZAÇÃO COM RESTRIÇÕES
DE TEMPOS DE VIAGENS E DE TRABALHO

LUIZ CARLOS RENZ

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia - Especialidade em Engenharia de Produção e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós - Graduação.

Prof. Osmar Possamai, Dr.
Coordenador

Banca Examinadora:

Prof. Plínio Stange, Dr.
Orientador

Miriam B. Gonçalves

Prof.ª Mirian Buss Gonçalves, Dr.ª

Prof. Fernando Gauthier, Dr.

Para Maria Líbera,
Fernando,
Letícia,
Renata,
Rafael e
Marcos.

AGRADECIMENTOS

Ao dar por encerrada esta dissertação não poderia deixar de manifestar os meus agradecimentos a todos os que me ajudaram a alcançar este objetivo. De um modo especial devo agradecer:

- A Deus, por mais uma realização, por estar sempre ao meu lado e pela sua permanente ajuda;
- À minha esposa, Maria Líbera, pela dedicação, incentivo e participação;
- Aos meus filhos Fernando, Letícia, Renata, Rafael e Marcos pela compreensão e aceitação dos momentos que não lhes foram dedicados;
- A minha mãe, Martina Capelli, pela sua luta e resignação pela vida em prol de minha vitória;
- A minha irmã, Elisabete, pela sua preocupação constante comigo;
- Aos familiares pelo apoio apesar da distância;
- Ao professor Plinio Stange, pela orientação e amizade que me foram dedicadas;
- Ao amigo e colega Ademir Aparecido Constantino pela colaboração efetiva na realização dos programas em Pascal;
- Ao amigo e colega Francisco Leal Moreira pela ajuda e presteza incansáveis;
- À Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, pela sua política de incentivo de capacitação profissional promovendo o aprimoramento do Ensino;
- À Direção do Instituto de Matemática da PUC-RS, pelo apoio e confiança em mim depositados;
- Aos amigos e colegas que de alguma forma acompanharam-me nesta conquista.

SUMÁRIO

CAPÍTULO III

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

C/P - Com Procura.
C/V - Com Volta.
Pas - Pascal.
S/P - Sem Procura.
S/V - Sem Volta.
Txt - Texto.
UA - Unidade Amostral.
Unit - Unidade.

RESUMO

O uso de restrições de tempo em problemas de Cobertura de Arcos ou Nós representa, para todos os modelos que agregam a roteirização, uma enorme dificuldade na obtenção de seus resultados.

A motivação para este estudo surgiu, por meio de uma empresa gaúcha, de um caso específico de determinação de um roteiro mínimo realizado por um veículo para visitar determinados lugares que estão restritos ao tempo, correspondente a jornada de trabalho, gasto não só para se chegar a eles como também o da visita.

Este trabalho apresenta um modelo baseado no interessante método de Clarke-Wright que desenvolve um processo iterativo o qual permite a rápida seleção de uma rota ótima ou próxima à ótima respeitando as restrições de tempo.

A estruturação do modelo está baseada :

- na criação de dois arquivos: o das viagens (representado pelas arestas) e o das visitas (pelos nós);

- na determinação da rota mais curta entre cada par de nós que compõem uma aresta - para esse sistema foi utilizado o Algoritmo de Floyd.

Ao longo do trabalho são descritas as caracterizações que norteiam esse problema e como foram introduzidas no modelo. Os arquivos e os programas elaborados estão em linguagem Pascal.

À medida que caracterizarmos e tivermos bem definidos outros casos de roteirização, esse modelo será passível de aplicação, podendo ser utilizado em microcomputadores do tipo PC/AT ou compatível.

ABSTRACT

The usage of restrictions time in Covering Problems of ARCS or VERTICES represents, for all the models that associate the schedule, a big difficult in the results obtainment.

The motivation for this study resulted, by means of one " gaucha " company, an especific determination case of a minimum routing realized by a vehicle to visit determined places are restrit by time, corresponding a journey of labor, expended just not to reach them, but also to the visit.

This work presents a model based in the interesting system of CLARKE-WRIGHT, that develops expand an iterative procedure that allows a quick selection of an optimum or near--optimum route respecting the time restrictions.

The model structure is based :

- in the criation of two files. The journey way (presented by the links) and the visits (by the vertices).

- in the determination of the shortest route between every two vertices that compose an links. For this system was utilized the FLOYD´S ALGORITMO.

During the work are descripting the characterizations that guide this problem and how was introduced in the model. The files and the programs elaboreted are in PASCAL language.

According as we characterize and we establish another cases of schedule, this model is passible of aplication, making use of microcomputer like PC/AT or comppatible.

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

1.1 - Descrição do Problema

Este trabalho é uma generalização da solução de um caso real de determinação de roteirização com restrições de tempo que é o ponto crucial dos roteiros de custo mínimo.

Para melhor compreensão do trabalho proposto vamos colocar o problema prático que o originou.

Uma empresa, produtora de papel e celulose, localizada no município de Guaíba - RS, possui uma área total de 71.679,28 ha, sendo 57.843,60 ha de sua propriedade e 13.835,68 ha arrendados ou em parceria, distribuídos em 162 hortos, onde 92 são de sua propriedade (Anexo A - Quadro 1) e os 70 restantes, arrendados ou em parceria (Anexo A - Quadro 2).

A dispersão dos hortos florestais se faz ao longo de dois eixos rodoviários ligados à Sede na sua maior parte por estradas cujas distâncias mínima, média e máxima são respectivamente 4, 81 e 235 km (Anexo A - Quadros 1 e 2).

O problema que surge é que a empresa necessita das informações dendrométricas relativas aos povoamentos florestais. A determinação dos índices das medições das dimensões das árvores, por sua vez, fundamentam o manejo adequado das populações, conciliando interesses de mercado, atuais e futuros, metas econômicas e de produção, entre outras.

Com base no exposto, torna-se relevante a estruturação das equipes de inventário florestal, pois são responsáveis pela coleta sistemática das informações que irão compor as variáveis de interesse. Assim sendo, o acompanhamento de produtividade, paralelamente ao de qualidade do trabalho, se faz necessário de modo a abastecer com precisão e presteza o setor de planejamento da empresa.

Foi proposto um algoritmo para a solução não apenas deste caso prático, mas, também para resolver problemas de roteirização, a partir de uma única sede, com restrições de tempos de viagens e de trabalho.

1.2 - Motivação e Objetivo

Um fator de real significado, que influi no resultado final do inventário florestal, por causa do custo financeiro na realização das viagens das equipes de levantamento, está nas distâncias de localização dos hortos florestais em relação à Sede.

Os aumentos substanciais de preços que têm sofrido os combustíveis derivados do petróleo somados às taxas de juros elevados, onerando o custo da hora viajada, fazem com que aumente a magnitude do problema dos empresários e produtores florestais, qual seja o de minimizar os custos nas viagens.

Nos dias de hoje, dado seu alto valor e as perspectivas de que novas elevações de preço sejam concretizadas, é de vital importância o problema de minimizar os custos de viagens, a fim de que seja possível alocar mais eficientemente os recursos disponíveis.

Neste contexto, é que surgiu a motivação para esta dissertação, objetivando criar um roteiro de mínimo custo na realização dos inventários florestais. Inicialmente minimiza-se o tempo dispendido nas viagens da Sede aos hortos para a realização dos levantamentos. Esse tempo mínimo, em horas viajadas, proporciona a determinação de quais os caminhos mais curtos entre os hortos e a Sede. Posteriormente, em cima desses caminhos, determina-se uma rota mais favorável, com o maior ganho de tempo possível.

1.3 - Estrutura do Trabalho

O trabalho acha-se dividido em seis capítulos.

O primeiro capítulo relata um pequeno histórico do problema.

O segundo capítulo trata do inventário florestal.

No terceiro capítulo apresenta-se a fundamentação teórica para a aplicação do modelo matemático proposto.

O capítulo quatro descreve o modelo matemático para a otimização, uma análise dos resultados obtidos e um algoritmo para roteirização com restrições de tempos de viagens e de trabalho.

O capítulo cinco contém a implementação do algoritmo para a resolução do problema.

O capítulo seis apresenta as conclusões obtidas e algumas sugestões para trabalhos futuros.

1.4 - Coleta dos Dados

As informações básicas necessárias para o desenvolvimento deste trabalho foram extraídas da empresa TM - Engenharia de Florestas, que é prestadora de serviços à RIOCELL S.A. (empresa produtora de papel e celulose) na realização dos inventários florestais.

CAPÍTULO II

INVENTÁRIO FLORESTAL

2.1 - Introdução

O inventário florestal teve início na empresa RIOCELL S.A. no ano de 1976, constituindo-se como elemento básico no levantamento das informações dendrométricas relativas aos povoamentos florestais.

As informações aqui apresentadas, em sua grande maioria, não obedecem a uma determinada regra ou norma técnica. Cabe ao engenheiro florestal a escolha, dentre as diversas alternativas disponíveis, a que melhor garanta e respeite todas as limitações impostas por características biológicas e organizacionais da empresa.

2.2 - Tipos de Inventário

Na maioria das situações é comum três tipos de inventário, sendo que o problema em questão foi caracterizado com dois tipos a saber:

2.2.1 - Pré-corte

O inventário assim denominado, objetiva o levantamento intensivo das medições das dimensões daquelas secções das árvores cujas idades estejam a um ano do término da rotação. Tem-se como rotação os intervalos de sete anos após a implantação da floresta, até que esta complete um ciclo. Este inventário é realizado no período de janeiro a agosto.

2.2.2 - Contínuo

Trata-se do acompanhamento anual de parcelas permanentes e temporárias alocadas em povoamentos, a partir do terceiro ano de implantação da floresta, imprescindível para a determinação das variações periódicas dos parâmetros médios da população. Este inventário é realizado no período de setembro a dezembro.

2.3 - Formato e Dimensões das Unidades da Amostra

Um horto florestal normalmente é composto por uma floresta não homogênea. A homogeneidade dessa floresta caracteriza-se pelas seguintes situações:

- as árvores devem ser plantadas na mesma época;
- o espaçamento entre elas deve ser o mesmo;
- não deve existir espécimes diferentes;
- elas devem ser plantadas em áreas de mesmo ciclo.

Segundo VEIGA [71], para fins de inventário em florestas homogêneas, tem-se adotado amostragem de parcelas, geralmente retangulares, de 400 a 600 m^2. Para GOMES [31], o tamanho mencionado se justifica pela relação entre o tamanho da parcela e o coeficiente de variação: parcelas pequenas geralmente levam a coeficiente de variação mais alto.

Para este problema, os tamanhos utilizados são de 432 a 486 m^2, ocasionando uma média de 72 árvores por unidade amostral (UA).

2.4 - Intensidade Amostral

No inventário pré-corte a intensidade amostral é de 1 UA para cada 2 ha e no contínuo é de 1 UA para cada 10 ha, ressalvando-se os talhões cujas áreas sejam menores que 10 ha, onde ela aumenta, uma vez que se tem como limites, o erro amostral no nível máximo de 10% e 95% a probabilidade de que o parâmetro médio estimado coincida com a média da população para a variável de interesse.

2.5 - Sistema de Amostragem

O sistema de amostragem é o aleatório estratificado.

Para se obter a estratificação das áreas que são homogêneas, divide-se o horto florestal em retângulos e procura-se entre eles, os retângulos de mesmo estrato, isto é, aqueles que são homogêneos entre si.

Com o número de retângulos de mesmo estrato é possível determinar a área da região e com ela, de acordo com a intensidade amostral, determinar o número de unidades amostrais.

A escolha das unidades amostrais é feita aleatoriamente e, conseqüentemente, a amostragem é dita aleatória estratificada.

2.6 - Equipes de Levantamento

A equipe de levantamento é composta de um técnico florestal ou agrícola e um auxiliar. Cabe a esta a locação da unidade da amostra e o levantamento das informações dendrométricas.

2.7 - Material Utilizado no Levantamento

São utilizados, Hipsômetro e Suta para leituras das alturas e diâmetros; Cruzeta Angular, Balizas e Trena de 30 m para marcação dos cantos e dimensões da unidade.

2.8 - Informações Coletadas

São coletados os diâmetros de todos os indivíduos integrantes da unidade, procedendo simultaneamente à classificação sociológica destes em relação à população.

Obtêm-se por regressão as alturas individuais das árvores integrantes da amostra, procedendo a relação hipsométrica entre 15% das informações pareadas de diâmetro e altura, coletadas por ocasião do inventário.

2.9 - Descrição do Controle de Produção

2.9.1 - Horas Trabalhadas no Levantamento

Este item contém o período efetivamente gasto pela equipe no levantamento das informações, distribuído de acordo com o grau de dificuldade. Para isto é necessário classificar em função da rotação que determina a variação no número de hastes a serem medidas.

Compreende: a delimitação da unidade, a mensuração de 100% dos diâmetros, a leitura de 15% das alturas, incluindo as árvores dominantes e a classificação dos indivíduos da amostra.

2.9.2 - Deslocamento entre Unidades da Amostra

Este item apropria o tempo dispendido no momento em que a equipe encerra as medições da unidade, recolhe o material de marcação e se desloca até a próxima unidade a ser medida.

No boletim de campo registra-se o horário inicial e o de término da coleta das informações das medições das dimensões das árvores da unidade a ser mensurada. Este procedimento permite calcular por diferença o período do caminhamento entre as unidades integrantes da amostra.

2.9.3 - Distribuição das Equipes de Campo

Cada veículo transporta uma equipe de levantamento que deverá ser levada o mais próximo possível do local de trabalho. Considera-se este deslocamento, por ser feito com veículo dentro do horto, como distribuição de equipe, diferenciando-se do deslocamento entre unidades.

Ao fornecer a programação diária de trabalho, define-se o roteiro a ser percorrido pelo veículo, proporcionando o desembarque da equipe de levantamento junto aos talhões ou secções, para as medições das unidades amostrais. Posteriormente, no final da jornada dos trabalhos de campo, os funcionários são transportados à Sede administrativa.

2.9.4 - Limpeza de Terreno

Quando for necessário fazer a roçada da unidade ou abertura da picada de acesso à mesma, apropria-se o tempo gasto. As florestas de segunda ou terceira rotação tendem a ter sub-bosques mais densos, dificultando os trabalhos de medição.

2.9.5 - Horas em Escritório

Apropriação do tempo quando a equipe executa outras atividades em escritório.

2.9.6 - Compras e Preparo do Almoço

O veículo é dotado de cozinha de campo com a finalidade de fornecer alimentação à equipe no próprio local de trabalho, cujo período dispendido é computado individualmente para cada funcionário. O tempo destinado a este item é de 1 hora.

2.9.7 - Saída e Retorno

A equipe de inventário tem Sede administrativa no município de Guaíba. A saída e o retorno da sede aos hortos para execução dos levantamentos é controlada de modo que não exceda o tempo máximo de 20 e 10 minutos respectivamente, relativos ao início e ao fim do expediente.

2.9.8 - Horas Perdidas

Este item engloba o controle individual de todas as horas que envolvam o transporte das equipes de levantamento, doenças, faltas e chuvas que impossibilitem a execução dos trabalhos de campo.

2.9.9 - Horas Viajadas

Neste item são apropriados os períodos necessários ao deslocamento das equipes da Sede administrativa até o local de trabalho no campo.

2.9.10 - Formulário " Controle de Produção "

As informações a serem coletadas com a finalidade de acompanhar a execução da atividade de inventário florestal são discriminadas em formulário próprio, anotadas individualmente por equipe, referenciando a hora de início e fim, código de controle da atividade, talhão ou secção e número da unidade amostral medida. O formulário, totalizado em minutos, para cada atividade prevista, é entregue pelas equipes de levantamento, no final de expediente, ao encarregado que fará posteriormente a transformação dos períodos em horas compondo os acumulados mensais.

2.10 - Resultados e Discussões

No ano de 1992 foram levantadas 7090 e 1251 unidades amostrais para os Inventários Florestais Pré-corte e Contínuo, respectivamente. Para as condições da empresa TM - Engenharia de Florestas a produtividade média é de 3 unidades amostrais medidas em uma hora por equipe.

O resultado quantifica as horas dedicadas à atividade de inventário florestal. A classificação utilizada para a apropriação do tempo dispendido em horas trabalhadas, perdidas e viajadas ordenou a compilação das informações, facilitando a análise a ser feita.

2.10.1 - Horas Trabalhadas

2.10.1.1. - Medição da Unidade Amostral

Esta atividade representa 0,35 da hora total disponível para a realização dos levantamentos de campo em inventário florestal.

2.10.1.2 - Deslocamento entre Unidades da Amostra

Para o caso em estudo ficou determinado o índice de 0,10 da hora total disponível. Convém salientar que influenciam na variação do deslocamento entre as unidades da amostra, a intensidade do sub-bosque, o formato, bem como a dimensão do talhão ou secção a ser levantada.

2.10.1.3 - Distribuição das Equipes de Levantamento

Esta movimentação do pessoal feita dentro do horto dispende 0,09 da hora total trabalhada. Deve-se observar que concorrem para este resultado, distâncias a serem percorridas aos locais de trabalho, condições de trafegabilidade das estradas e aceiros, estas dependentes das variações climáticas desfavoráveis, e dificuldade na conclusão das medições programadas, de uma das equipes do levantamento, atrasando as demais.

2.10.1.4 - Limpeza de Terreno

Ocorre principalmente em levantamentos, cujas áreas são de segunda ou terceira rotação. Na análise efetuada, a maior parte do trabalho de medição de inventário envolveu áreas de segunda rotação, o que resultou em um índice de 0,02 por hora trabalhada na atividade.

2.10.1.5 - Outras Horas Trabalhadas

Foram reunidas, neste item, todas as horas dispendidas com atividades secundárias, complementares à execução do inventário florestal, tais como: programação para execução dos levantamentos dendrométricos, períodos diários necessários a carga e descarga do material de inventário dos veículos, abastecimento e, ainda, algumas horas em atividades eventuais que pela baixa freqüência não comportam controle específico. Todas estas atividades secundárias contribuem para a formação do índice, determinando-o em 0,17 do total de horas.

2.10.2 - Horas Perdidas

Na quantificação das horas perdidas são computados defeitos ocorridos nos veículos, doença, absenteísmo de funcionários, e chuvas que impeçam a equipe de cumprir a programação de trabalho. O índice encontrado para as horas perdidas é de 0,05 das horas totais.

2.10.3 - Horas Viajadas

O período destinado a viagem da equipe para realização das atividades de inventário florestal nos hortos representa, para os dados ora analisados, um montante de 0,22 da hora total.

CAPÍTULO III

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 - Introdução

Este capítulo aborda alguns conceitos e definições, algumas representações no computador, menor caminho e roteirização ligados à teoria dos grafos que serão úteis para a aplicação do modelo matemático proposto.

Nele constam informações básicas em nível bem claro e objetivo.

3.2 - Conceitos e Definições

3.2.1 - Grafo

Um grafo G é definido como sendo um par ordenado (N,A), onde N é um conjunto finito e não vazio e A uma relação binária sobre N.

3.2.2 - Nós

Os elementos do conjunto N são denominados de nós, pontos ou vértices do grafo.

3.2.3 - Arcos

Os pares ordenados de A são denominados de arcos, arestas ou linhas do grafo.

A figura 3.1 mostra uma representação geométrica do grafo G(N,A).

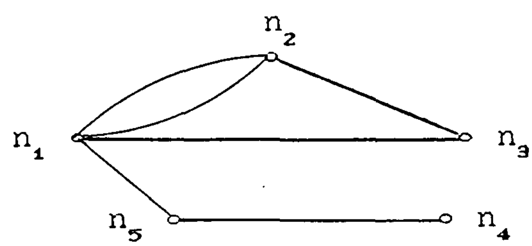


Fig. 3.1 - $N = \{ n_1, n_2, n_3, n_4, n_5 \}$ e
$A = \{ (n_1,n_2), (n_1,n_2), (n_1,n_3), (n_1,n_5), (n_2,n_3), (n_4,n_5) \}$

3.2.4 - Grafo Orientado

Um grafo é dito orientado, dirigido ou digrafo, se todos os seus arcos possuem orientação (Fig. 3.2).

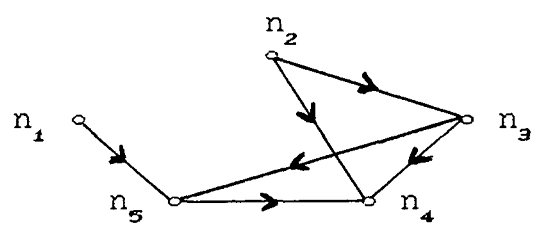


Fig. 3.2 - Grafo Orientado

3.2.5 - Grafo Não Orientado

Um grafo é dito não orientado, ou não dirigido, se nenhum dos seus arcos possui orientação (Fig. 3.1).

Observação:

Num grafo G(N,A) não orientado, podemos observar que o conjunto A representa uma relação simétrica binária sobre N. Em virtude disso, um arco ligando dois nós $n_i, n_j \in N$ pode ser representado por (n_i,n_j) ou (n_j,n_i) indiferentemente. O mesmo não ocorre para um grafo orientado.

3.2.6 - Grafo Misto

Um grafo é dito misto, se ocorrem arcos orientados na presença de outros sem orientação (Fig. 3.3).

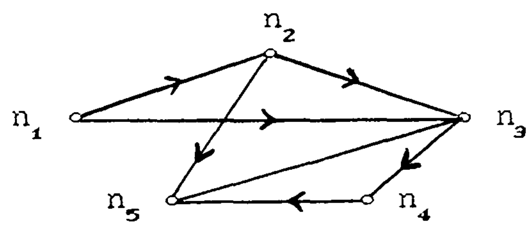


Fig. 3.3 - Grafo Misto

3.2.7 - Nó Sucessor

Um nó n_j em um grafo orientado é chamado um sucessor de um outro nó n_i e representado por $\Gamma(n_i) = \{ n_j \}$, se existe um arco orientado de n_i para n_j.

Exemplo:

Considerando o grafo da Fig. 3.2, temos:

$\Gamma(n_1) = \{ n_5 \}$

3.2.8 - Nó Antecessor

Num grafo orientado, se existe um arco orientado de um nó n_i para n_j, o nó n_i é denominado um antecessor de n_j e representado por $\Gamma^{-1}(n_j) = \{ n_i \}$.

Exemplo:

Considerando o grafo da Fig. 3.2, temos:

$\Gamma^{-1}(n_5) = \{ n_1, n_3 \}$

3.2.9 - Arco Incidente

Um arco incide ou é dito incidente com os dois nós que ele liga.

3.2.10 - Laço

Um arco incidente a um único nó é denominado de laço (Fig. 3.4).

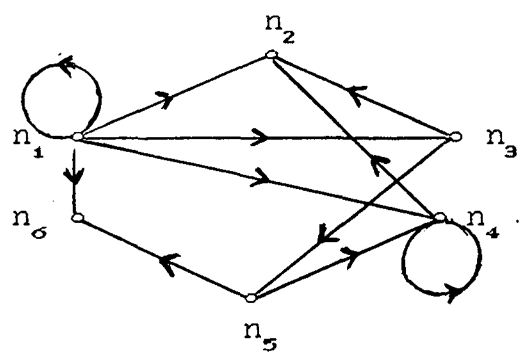


Fig. 3.4 - Grafo contendo dois laços

3.2.11 - Nós Adjacentes

Dois nós são adjacentes ou vizinhos, se eles estão ligados por um arco.

Exemplo:

Considerando o grafo da Fig. 3.4, temos:

n_1 e n_2 são adjacentes e n_3 e n_4 não os são.

3.2.12 - Arcos Adjacentes

Dois arcos que incidam num mesmo nó são ditos adjacentes.

Exemplo:

Considerando o grafo da Fig. 3.4, temos: (n_1,n_6) e (n_5,n_6) são adjacentes a n_6.

3.2.13 - Nó Isolado

Um nó é dito isolado, se não existe arco incidindo sobre ele.

3.2.14 - Arcos Paralelos

Se existem dois arcos $a_i = (n_i,n_j)$ e $a_j = (n_j,n_i)$, então diz-se que a_i e a_j são arcos paralelos.

Exemplo:

Considerando o grafo da Fig. 3.1, temos: (n_1,n_2) e (n_2,n_1) são paralelos.

3.2.15 - Multigrafo

Se um grafo possui arcos paralelos ou laços, então ele é denominado de multigrafo (Fig. 3.1 e Fig. 3.4).

3.2.16 - Subgrafo

Um grafo G´(N´,A´) é um subgrafo de G(N,A), se N´ for subconjunto de N e A´ um subconjunto de A.

3.2.17 - Grafo Simples

Diz-se que o grafo é simples, se ele não possui laços e arcos paralelos (Fig. 3.2 e Fig.3.3).

3.2.18 - Grafo Completo

Um grafo simples, em que cada par distinto de nós é adjacente, é denominado grafo completo ou clique (Fig. 3.5).

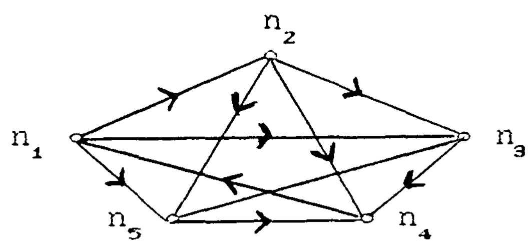


Fig. 3.5 - Grafo Completo

Observação:

Todo grafo completo de n nós possui $m = C_n^2$ arcos.

3.2.19 - Grau de Convergência

Seja G(N,A) um grafo orientado simples. Define-se grau de convergência ou grau de um nó $n \in N$, denotado por $gr_c(n)$, como sendo o número de arcos que incidem sobre n.

Exemplo:

Considerando o grafo da Fig. 3.5, temos:

$gr_c(n_1) = 1$.

3.2.20 - Grau de Divergência

Seja G(N,A) um grafo orientado simples. Define-se grau de divergência de um nó $n \in N$, denotado por $gr_d(n)$, como sendo o número de arcos que saem desse nó.

Exemplo:

Considerando o grafo da Fig. 3.5, temos:

$gr_d(n_1) = 3$.

Observações:

- A soma dos graus de convergência de todos os nós de um grafo é igual à soma dos graus de divergência de todos os nós desse grafo.

- A soma dos graus de convergência ou divergência de todos os nós de um grafo é igual ao número de arcos desse grafo, isto é,

$$\sum_{i=1}^{n} gr_c(n) = \sum_{i=1}^{n} gr_d(n) = m$$

onde n é o número de nós e m o número de arcos do grafo.

3.2.21 - Grafo Regular de Grau de Convergência r

Um grafo é dito regular de grau de convergência r, se todos os seus nós possuem grau de convergência r.

3.2.22 - Grafo Nulo

Um grafo é dito nulo, se for regular de grau de convergência zero.

Observação:

Um nó isolado é também um nó de grau de convergência zero.

3.2.23 - Nó Pendente

Um nó de grau de convergência igual a 1 é dito pendente.

Exemplo:

Considerando o grafo da Fig. 3.5, temos:

n_1 é um nó pendente.

3.2.24 - Grafo Valorado

Um grafo, no qual um número w_{ij} está associado a cada arco, é denominado de grafo valorado (Fig. 3.6).

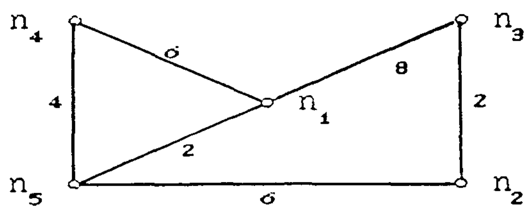


Fig. 3.6 - Grafo Valorado

3.2.25 - Custo do Arco

Num grafo valorado, o número w_{ij} é chamado de custo do arco (i,j).

Exemplo:

Considerando o grafo da Fig. 3.6, temos:

$w_{13} = 8$.

3.2.26 - Caminho

Um caminho ou uma trilha de um grafo é uma seqüência de arcos onde o nó final de um arco é o nó inicial do próximo.

Exemplo:

Considerando o grafo de Fig. 3.6, temos:

$n_1 - n_3 - n_2$ é um caminho.

3.2.27 - Grafo Conexo

Diz-se que um grafo G é conexo, se existe pelo menos um caminho ligando quaisquer pares de nós em G (Figs. 3.1 a 3.6).

3.2.28 - Grafo Não Conexo

Um grafo G é dito não conexo, se não existe qualquer caminho ligando pelo menos um par de nós em G.

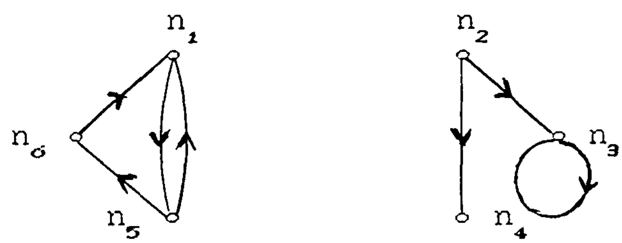


Fig. 3.7 - Grafo Não Conexo

3.2.29 - Caminho Simples

Se cada arco aparece apenas uma vez na seqüência de arcos, então a seqüência recebe o nome de caminho simples.

Exemplo:

Considerando o grafo da Fig. 3.6, temos:

o caminho $n_1 - n_3 - n_2$ é simples.

3.2.30 - Ciclo

Um ciclo ou circuito é um caminho fechado, isto é, os nós inicial e final coincidem.

Exemplo:

Considerando o grafo da Fig. 3.6, temos:

o caminho $n_1 - n_3 - n_2 - n_5 - n_1$ é um ciclo.

3.2.31 - Ciclo Simples

Se o caminho fechado for simples, então o ciclo é dito simples.

Exemplo:

Considerando o exemplo anterior, temos:
o caminho $n_1 - n_3 - n_2 - n_5 - n_1$ é um ciclo simples.

3.2.32 - Grafo Acíclico

Um grafo que não possui ciclo é dito ser acíclico (Fig. 3.8).

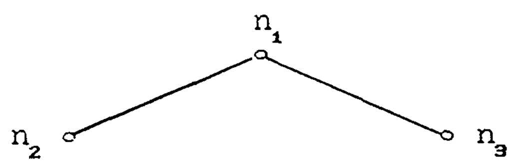


Fig.3.8 - Grafo Acíclico

3.2.33 - Caminho de Euler

Um caminho fechado, que atravessa todos os arcos de um grafo somente uma vez, foi denominado de caminho ou roteiro de Euler.

Observação:

Aspectos computacionais da determinação de caminhos ou roteiros de Euler em grafos, quando existirem, podem ser consultados em Edmonds e Johnson [19].

3.2.34 - Grafo de Euler

Um grafo que consiste de um caminho fechado de Euler é um grafo de Euler.

3.2.35 - Ciclo Hamiltoniano

Um ciclo hamiltoniano em um grafo conexo G é definido como um caminho simples fechado, isto é, passa-se em cada nó de G exatamente uma vez, exceto, naturalmente, no nó inicial que é considerado também nó terminal.

3.2.36 - Caminho Hamiltoniano

Define-se caminho hamiltoniano como sendo um caminho simples.

3.3 - Representação de um Grafo no Computador

O grafo pode ser representado de várias maneiras num computador. A escolha correta de como representar um grafo implicará na melhor eficiência do algoritmo a ser utilizado.

Apresentaremos os cinco mais freqüentes dados estruturais utilizados para os grafos. Outras variações são possíveis. A escolha depende da natureza do processo, dimensão do grafo, sua densidade, bem como do computador e da linguagem que estiverem sendo usados.

3.3.1 - Matriz Custo

A mais simples e talvez a mais popular representação no computador de um grafo é a matriz-custo ou matriz-peso.

Um grafo G(N,A) simples e valorado pode ser representado por sua matriz de custo $W = [\ w_{ij}\ ]$, onde

$$w_{ij} = \begin{cases} \text{custo do arco, se } (n_i, n_j) \in N \\ 0 \text{ ou } \infty \text{, caso contrário.} \end{cases}$$

Se não houver arcos em G, isto é, $(n_i, n_j) \notin N$, o elemento correspondente w_{ij} é usualmente levado para ∞ (na prática um número grande). As entradas em diagonal são usualmente levadas para zero (ou para algum outro valor dependendo da aplicação e do algoritmo). É fácil ver que a matriz custo de um grafo não orientado é sempre simétrica.

É claro ver que a representação de uma matriz-custo de ordem n solicitará n^2 palavras da memória do computador para armazenar um grafo orientado, pois cada arco necessitará ser examinado pelo menos uma vez. Para um grafo não orientado, pode-se trabalhar com aproximadamente metade das palavras.

Exemplo:

Considerando o grafo da Fig. 3.6, temos:

$$W = \begin{bmatrix} 0 & \infty & 8 & 6 & 2 \\ \infty & 0 & 2 & \infty & 6 \\ 8 & 2 & 0 & \infty & \infty \\ 6 & \infty & \infty & 0 & 4 \\ 2 & 6 & \infty & 4 & 0 \end{bmatrix}$$

3.3.2 - Lista de Nós

Para grafos esparsos, (isto é, o número de arcos m é muito menor que n(n-1), o número de todos os arcos possíveis), estaríamos dispendendo uma boa quantidade do espaço da memória na armazenagem dos infinitos e sua representação poderia ser feita de forma mais eficiente, utilizando-se três listas, onde a primeira contém os inícios (i) dos arcos, a segunda, os respectivos términos (t) e a terceira, os respectivos custos (w). Esta representação pode ser implementada com três vetores $I = \{ i_1, i_2, i_3, \ldots, i_n \}$, $T = \{ t_1, t_2, t_3, \ldots, t_n \}$ e $C = \{ w_1, w_2, w_3, \ldots, w_n \}$.

Note que temos nós listados na ordem ascendente de seu nó inicial. Mas, eles poderiam ter sido listados em alguma outra ordem prescrita, ou seja, na ordem ascendente de seus custos. Este método de representação requer 3m palavras da memória do computador em contraste com n^2 palavras da memória para a matriz- custo.

Exemplo:

Considerando os dados do exemplo anterior, temos:

$$I = \{ 1 , 1 , 1 , 2 , 2 , 3 , 3 , 4 , 4 , 5 , 5 , 5 \}$$
$$T = \{ 3 , 4 , 5 , 3 , 5 , 1 , 2 , 1 , 5 , 1 , 2 , 4 \}$$
$$C = \{ 8 , 6 , 2 , 2 , 6 , 8 , 2 , 6 , 4 , 2 , 6 , 4 \}$$

3.3.3 - Estrutura de Adjacência

Um grafo pode ser descrito por sua estrutura de adjacência (Γ), ou seja, por uma lista de todos os sucessores de cada nó. Portanto, para cada nó n, $\Gamma(n)$ consiste de uma lista de todos os sucessores do nó n.

Exemplo:

Considerando os dados do exemplo anterior, temos:

n	$\Gamma(n)$
n_1	n_3, n_4, n_5
n_2	n_3, n_5
n_3	n_1, n_2
n_4	n_1, n_5
n_5	n_1, n_2, n_4

3.3.4 - Matriz de Adjacência

Dado um grafo G(N,A), a matriz de adjacência $M = [\, a_{ij} \,]$ é uma matriz n x n tal que

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se e somente se existe } (n_i , n_j) \in A \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

Isto significa que $a_{ij} = 1$, quando os nós n_i e n_j são adjacentes e $a_{ij} = 0$ em caso contrário.

Note-se que em uma matriz de adjacência um laço pode ser representado por um 1 na diagonal principal. Arcos paralelos podem ser representados por um número maior que 1, isto é, pelo número de arcos paralelos. A representação de arcos paralelos não é muito comum, uma vez que é mais conveniente representar cada elemento da matriz por um único bit (0 ou 1).

Para um grafo não orientado, a matriz de adjacência é simétrica, portanto é suficiente armazenar somente a parte triangular superior. Obtém-se, assim, uma economia de 50% no armazenamento, mas o tempo computacional pode aumentar bastante devido à referência a_{ij}, que deve ser substituída por " se i > j então a_{ij}, senão a_{ji} ".

Não é difícil ver que, em muitos algoritmos de grafos, cada arco de um dado grafo G necessitará ser examinado pelo menos uma vez.

Exemplo:

Considerando os dados do exemplo anteiror, temos:

$$M = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

3.3.5 - Matriz de Incidência

Dado um grafo G(N,A) de n nós e m arcos, a matriz de incidência de G é denotada por $B = [\ b_{ij}]$ e é uma matriz n x m definida como segue

$$b_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ se } n_i \text{ for o vértice inicial de } a_j \\ 0, \text{ em caso contrário ou se } a_j \text{ for um laço} \end{cases}$$

Se o grafo G for orientado, então poderá ser definido como

$$b_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ se } n_i \text{ for o vértice inicial de } a_j \\ -1, \text{ se } n_i \text{ for o vértice final de } a_j \\ 0, \text{ caso contrário ou se } a_j \text{ for um laço} \end{cases}$$

Exemplo:

Considerando os dados do exemplo anterior, temos:

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

3.4 - Menor Caminho entre Dois Nós

Admitiremos neste item que o grafo dado possui um custo associado a cada arco.

3.4.1 - Menor Caminho entre Dois Nós Específicos n_i e n_j

O algoritmo mais eficiente para a solução do problema do caminho mais curto entre os nós n_i e n_j foi dado inicialmente por Dijkstra.

3.4.2 - Menor Caminho entre Todos os Pares de Nós

Quando as trajetórias mais curtas entre todos os pares de nós de um grafo forem requeridas, um caminho óbvio para a obtenção das respostas é aplicar o algoritmo de Dijkstra n vezes (onde n é o número de nós no grafo), para cada vez com um nó diferente como o nó inicial n_i. Para o caso de um grafo com uma matriz-custo W, não-negativa, o tempo de cálculo resultante seria proporcional a n^3, enquanto que, para uma matriz de custo geral, seria proporcional a n^4. Esta última situação exclui a possibilidade de resolução de uma ampla escala de problemas de trajetória mais curta pela aplicação repetitiva do algoritmo de Dijkstra.

Neste item é descrita uma tentativa completamente diferente ao problema de achar as trajetórias mais curtas entre todos os pares de nós. O método dado aplica-se a ambas, matrizes de custos não-negativos e geral, e requere um tempo de computação proporcional a n^3. O método, quando aplicado a grafos com matrizes de custos não-negativos é, em geral, cerca de 50% mais rápido do que a aplicação do algoritmo de Dijkstra n vezes. Este procedimento foi descrito por Floyd [21]. É baseado em uma seqüência de n transformações do custo inicial da matriz W, tal que na iteração k, a matriz represente a trajetória mais curta das distâncias entre cada par de nós com a restrição da qual a trajetória entre n_i e n_j (para quaiquer n_i e n_j) contenha somente nós do conjunto restrito $\{ n_1, n_2, n_3, \ldots, n_k \}$ como intermediários.

3.4.2.1 - Algoritmo de Floyd

Admita que a matriz de custo tenha sido iniciada de tal modo que $w_{ii} = 0$ para todo $i = 1, 2, 3, \ldots, n$ e que $w_{ij} = \infty$ quando não existe o arco (n_i, n_j).

Início

Passo 1. Faça $k = 0$

As iterações

Passo 2. Faça $k = k + 1$

Passo 3. Para todo $i \neq k$ tal que $w_{ik} \neq \infty$ e todo $j \neq k$ tal que $w_{kj} \neq \infty$, faça:

$$w_{ij} = \min [w_{ij} , (w_{ik} + w_{kj})] \qquad (3.1)$$

Teste de finalização

Passo 4. a) Se algum $w_{ii} < 0$, então existe no grafo um ciclo de custo negativo contendo o nó n_i e não existe solução possível. Pare.

b) Se todos $w_{ii} \geq 0$ e $k = n$, a solução foi achada e $[w_{ij}]$ fornece os custos de todos os menores caminhos. Pare.

c) Se todos $w_{ii} \geq 0$ mas $k < n$, retorne ao passo 2 e continue.

A prova de otimização das respostas obtidas por este algoritmo é bem simples, veja Hu [37]. A operação básica da equação (3.1) no algoritmo descrito acima é chamada de " triple operation " e tem ampla aplicação para problemas de uma natureza similar a do problema de trajetória mais curta.

3.4.2.2 - Aplicação Utilizando o Método de Floyd

Determinar os menores caminhos entre os seis nós do grafo da Fig. 3.9. Os números colocados ao lado dos arcos representam custos.

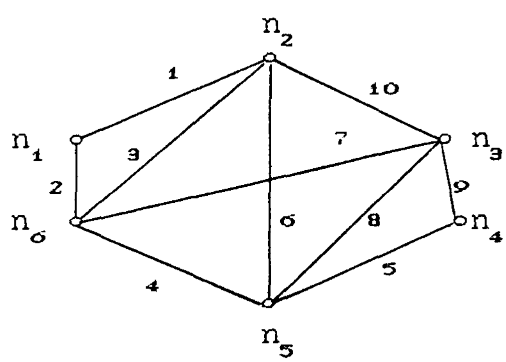


Fig. 3.9 - Determinação dos Menores Caminhos

Inicialmente entra-se com o número de vértices, no caso 6, para ser montada a matriz dos custos. Sendo essa matriz simétrica, pois o grafo é não orientado, permite entrar com os custos w_{ij} onde $i < j$. O programa é executado, possibilitando ao usuário proceder a entrada de nó a nó obtendo a informação do caminho e o custo para realizá-lo.

Os resultados obtidos são:

Nó Inicial	Nó Final	Caminho	Custo
1	2	1-2	1
1	3	1-6-3	9
1	4	1-6-5-4	11
1	5	1-6-5	6
1	6	1-6	2
2	3	2-3	10
2	4	2-5-4	11
2	5	2-5	6
2	6	2-6	3
3	4	3-4	9
3	5	3-5	8
3	6	3-6	7
4	5	4-5	5
4	6	4-5-6	9
5	6	5-6	4

3.5 - Problemas de Cobertura de Nós

3.5.1 - Introdução

Numerosas situações reais podem ser exibidas como problemas de cobertura. O problema de encontrar o menor custo no ciclo Hamiltoniano, isto é, cobrir os nós de um grafo buscando o trajeto de percurso mínimo, é amplamente conhecido na literatura como o " problema do caixeiro viajante " [3 , 4 , 20]. O trajeto pode ser percorrido por um ou mais veículos, sendo que o acréscimo de veículos é facilmente caracterizado por uma generalização do problema do caixeiro viajante simples, podendo torná-lo num problema reformulado de ampla dimensão [12].

3.5.2 - Roteirização com Restrição de Tempo

O problema do caixeiro viajante assume a condição de que o veículo que está efetuando o roteiro não esteja limitado por restrição de tempo. A aplicação desse fato ao problema em questão neste trabalho nem sempre é aceitável, visto que o veículo tem seu tempo de ciclo limitado pela jornada de trabalho da equipe.

Para resolver problemas de roteirização de um veículo que parte de uma sede e que possua restrição de tempo de viagem, pode-se utilizar o método de Clarke e Wright [13].

3.6 - Método de Clarke e Wright

Esse método, bastante eficiente e produzindo bons resultados, caracteriza-se no conceito de " economia " que pode ser obtido ao se ligar dois nós de forma sucessiva num grafo.

Vamos admitir, inicialmente, que um veículo passe por um único nó e retorne à Sede.

Fazendo:

d_{si}: distância da sede ao nó i
d_{is}: distância do nó i à sede
P_i : percurso passando pelo nó i

temos:

$$P_i = d_{si} + d_{is} \qquad (3.2)$$

Analogamente,

$$P_j = d_{sj} + d_{js} \qquad (3.3)$$

Vamos admitir, agora, que o mesmo veículo passe por dois e somente dois nós e retorne à Sede.

Fazendo:

d_{si}: distância da sede ao nó i
d_{ij}: distância do nó i ao nó j
d_{js}: distância do nó j à sede
P_{ij}: percurso passando pelos nós i e j

temos:

$$P_{ij} = d_{si} + d_{ij} + d_{js} \qquad (3.4)$$

A " economia " obtida, em termos de percurso, é o percurso ao passar por dois nós subtraído da soma dos percursos isolados de cada nó.

Fazendo:

E_{ij}: economia relativa aos nós i e j

temos:

$$E_{ij} = P_i + P_j - P_{ij} \qquad (3.5)$$

Substituindo-se a (3.2), (3.3) e (3.4) na (3.5), obtemos:

$$E_{ij} = d_{si} + d_{is} + d_{sj} + d_{js} - (d_{si} + d_{ij} + d_{js})$$

logo,

$$E_{ij} = d_{is} + d_{sj} - d_{ij} \qquad (3.6)$$

Procura-se selecionar o par com maior valor de economia e_{ij} para construir a seqüência de um roteiro de dois nós i e j. Há combinações, no entanto, que violam a restrição de tempo, não sendo porisso realizadas. O método de Clarke-Wright explora este conceito, sendo descrito a seguir:

1 - Calculam-se as economias e_{ij} para todos os pares (i,j), com $i \neq j$, $i \neq s$ e $j \neq s$.

2 - Colocam-se os pares (i,j) na ordem decrescente dos valores da economia e_{ij}.

3 - Começa-se pelo par (i,j) com maior economia e_{ij} e procede-se na seqüência obtida em (2).

4 - Para um par de nós i,j correspondentes ao k-ésimo elemento da seqüência (2) verificar se i e j estão ou não incluídos num roteiro já existente:

a - Se i e j não forem incluídos em nenhum dos roteiros já abertos, então cria-se um novo roteiro com os nós i e j.

b - Se exatamente um dos nós i ou j já pertence a um roteiro pré-estabelecido, verificar se esse ponto é o primeiro ou o último do roteiro (adjacente ao nó s, Sede). Se isso ocorrer, acrescentar o arco (i,j) a esse roteiro. Caso contrário, passa-se para o próximo par da seqüência obtida em (2), desconsiderando o par (i,j).

c - Se ambos os nós i e j já pertencem a dois roteiros pré-estabelecidos (roteiros diferentes), verificar se ambos são extremos dos respectivos roteiros (adjacentes ao nó s). Nesse caso fundir os dois roteiros num só. Caso contrário, passar para o próximo par da seqüência obtida em (2), desconsiderando o par (i,j).

d - Se ambos os nós i e j pertencerem a um mesmo roteiro, passa-se para o próximo par da seqüência obtida em (2), desconsiderando o par (i,j).

e - O processo tem continuidade até que a lista completa de economias seja exaurida. Se sobrar algum nó não incluído em nenhum roteiro, deverão ser formados roteiros individualizados, ligando a Sede a cada nó e retornando à mesma.

3.6.1 - Exemplos Utilizando o Método de Clarke-Wright

Procurando englobar todas as situações possíveis do método de Clarke-Wright apresentaremos três exemplos para obtermos, respectivamente, os seguintes roteiros:

- único
- mais de um
- individualizado.

3.6.1.1 - Exemplo 1

Determinar os roteiros otimizados para um veículo que atenda os 5 nós apresentados na Fig. 3.10, a partir da Sede s. Os números colocados ao lado dos arcos representam o tempo gasto, em minutos, para o veículo percorrê-los.

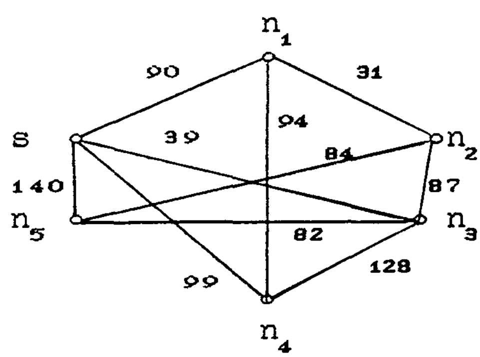


Fig. 3.10 - Grafo do exemplo 1

Inicialmente são calculados os tempos mínimos gastos entre os 6 pontos, a Sede e mais cinco nós. Para isto, é preciso aplicar o método de Floyd, obtendo-se os seguintes resultados:

nó inicial	nó final	custo
S	n_1	90 min
S	n_2	121 min
S	n_3	39 min
S	n_4	99 min
S	n_5	121 min
n_1	n_2	31 min
n_1	n_3	118 min
n_1	n_4	94 min
n_1	n_5	115 min
n_2	n_3	87 min
n_2	n_4	125 min
n_2	n_5	84 min
n_3	n_4	128 min
n_3	n_5	82 min
n_4	n_5	209 min

Com a expressão (3.6), são calculadas as economias para os diversos pares (i,j). Uma vez que a matriz das distâncias é simétrica, basta calcular uma parte da mesma, variando i de 1 a n - 1 (n é o número de nós, excluída a Sede) e j de i + 1 a n. O número de combinações de i e j é dado por : $C_n^2 = n.(n-1) / 2$. No caso, n = 5, teremos : $C_5^2 = 5 \times 4 / 2 = 10$ combinações diferentes.

$$
\begin{aligned}
e_{12} &= 90 + 121 - 31 = 180 \text{ min}\\
e_{13} &= 90 + 39 - 118 = 11 \text{ min}\\
e_{14} &= 90 + 99 - 94 = 95 \text{ min}\\
e_{15} &= 90 + 121 - 115 = 96 \text{ min}\\
e_{23} &= 121 + 39 - 87 = 73 \text{ min}\\
e_{24} &= 121 + 99 - 125 = 95 \text{ min}\\
e_{25} &= 121 + 121 - 84 = 158 \text{ min}\\
e_{34} &= 39 + 99 - 128 = 10 \text{ min}\\
e_{35} &= 39 + 121 - 82 = 78 \text{ min}\\
e_{45} &= 99 + 121 - 209 = 11 \text{ min}
\end{aligned}
$$

Agora são colocados os diversos pares (i,j) ordenados na escala decrescente das economias. Como temos economias iguais, o programa coloca essas economias na ordem de apresentação.

Quadro 3.1 - Ligações e Respectivas Economias

Arco	Economia
(1,2)	180 min
(2,5)	158 min
(1,5)	96 min
(1,4)	95 min
(2,4)	95 min
(3,5)	78 min
(2,3)	73 min
(1,3)	11 min
(4,5)	11 min
(3,4)	10 min

Inicialmente consideramos o arco de maior economia, que é o (1,2). É necessário verificar se o tempo de ciclo está dentro do limite. O tempo de ciclo é de 90 + 31 + 121 = 242 min, dentro do limite de 480 min. Assim, como não se formou ainda nenhum roteiro, cria-se o roteiro nº 1 formado por esse arco, ou seja:

roteiro nº 1 ≡ 1 - 2

Passamos ao segundo par da lista de economias (Quadro 3.1). Trata-se do arco (2,5). Há somente um nó em comum com o roteiro nº 1 (nó 2). Esse nó comum, além disso, é extremo do roteiro nº 1. Assim, o roteiro nº 1 poderá ser estendido para 1 - 2 - 5. Mas, para isso, é necessário verificar o tempo de ciclo desse roteiro potencial que é : 90 + 31 + 84 + 121 = 326 min, dentro do limite de 480 min. Assim, o roteiro nº 1 fica ampliado para:

roteiro nº 1 ≡ 1 - 2 - 5

O terceiro arco da lista de economias (Quadro 3.1) é formado pelo par (1,5). Ambos os nós já pertencem ao roteiro nº 1.

O quarto arco da lista é formado pelo par (1,4). Há apenas um nó em comum (nó 1), sendo esse nó extremo do roteiro nº 1. Potencialmente podemos então considerar o roteiro expandido 4 - 1 - 2 - 5. O tempo de ciclo desse roteiro potencial é de 99 + 94 + 31 + 84 + 121 = 429 min, abaixo do limite indicado. O roteiro nº 1 é expandido então para:

roteiro nº 1 ≡ 4 - 1 - 2 - 5

O arco seguinte da lista (de nº 5) é formado pelo par (2,4). Ambos os nós já pertencem ao roteiro nº 1.

Passando para o arco (3,5), do quadro 3.1 (o sexto da lista) há apenas um nó em comum com o roteiro nº 1 (nó 5). Esse nó comum, além disso, é extremo do roteiro nº 1. Assim, o roteiro nº 1 poderá ser estendido para 4 - 1 - 2 - 5 - 3. Mas, para isso, devemos verificar o tempo de ciclo desse roteiro potencial que é de 429 min (99 + 94 + 31 + 84 + 82 + 39), dentro do limite de 480 min. Assim, o roteiro nº 1 fica ampliado para:

roteiro nº 1 ≡ 4 - 1 - 2 - 5 - 3

O arco seguinte (o sétimo) é formado pelo par (2,3). Ambos os nós já pertencem ao roteiro nº 1.

Passando ao arco (1,3) vemos que ambos os nós já pertencem ao roteiro nº 1.

Os nós 4 e 5, que formam o arco nº 9, já pertencem ao roteiro nº 1.

O mesmo princípio se aplica ao arco seguinte: o décimo arco, formado pelo par (3,4).

Dessa forma, a solução final é formada por um único roteiro dado por:

s ⇒ 4 ⇒ 1 ⇒ 2 ⇒ 5 ⇒ 3 ⇒ s e com tempo de ciclo de 429 min.

3.6.1.2 - Exemplo 2

Determinar os roteiros otimizados para um veículo que atenda os 5 nós apresentados na Fig. 3.11, a partir da Sede s.

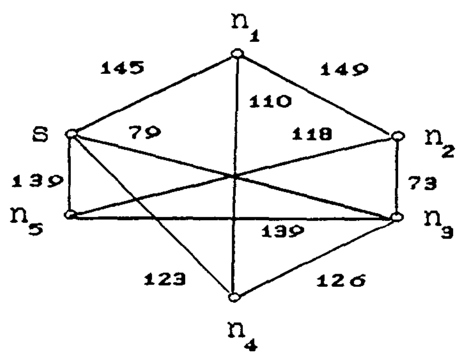


Fig. 3.11 - Grafo do Exemplo 2

Novamente devemos calcular os tempos de mínimo custo gastos entre os 6 pontos (a Sede e mais cinco nós). Os resultados obtidos na aplicação do método de Floyd são:

nó inicial	nó final	custo
S	n_1	145 min
S	n_2	152 min
S	n_3	79 min
S	n_4	123 min
S	n_5	139 min
n_1	n_2	149 min
n_1	n_3	222 min
n_1	n_4	110 min
n_1	n_5	267 min
n_2	n_3	73 min
n_2	n_4	199 min
n_2	n_5	118 min
n_3	n_4	126 min
n_3	n_5	139 min
n_4	n_5	262 min

Com a expressão (3.6), são calculadas as economias para os 15 pares.

$$
\begin{aligned}
e_{12} &= 149 + 218 - 110 = 257 \text{ min} \\
e_{13} &= 149 + 126 - 236 = 39 \text{ min} \\
e_{14} &= 149 + 79 - 118 = 110 \text{ min} \\
e_{15} &= 149 + 145 - 183 = 111 \text{ min} \\
e_{23} &= 218 + 126 - 126 = 218 \text{ min} \\
e_{24} &= 218 + 79 - 228 = 69 \text{ min} \\
e_{25} &= 218 + 145 - 73 = 290 \text{ min} \\
e_{34} &= 126 + 79 - 139 = 66 \text{ min} \\
e_{35} &= 126 + 145 - 123 = 148 \text{ min} \\
e_{45} &= 79 + 145 - 224 = 0 \text{ min}
\end{aligned}
$$

Na escala decrescente das economias são colocados os 10 pares (i,j).

Quadro 3.2 - Ligações e Respectivas Economias

Arco	Economia
(2,5)	173 min
(1,4)	158 min
(2,3)	158 min
(1,2)	148 min
(3,5)	79 min
(2,4)	76 min
(3,4)	76 min
(1,5)	17 min
(1,3)	2 min
(4,5)	0 min

Passemos agora ao arco nº 1 do quadro de economias, formado pelo par (2,5). Potencialmente seria possível criar-se o roteiro nº 1. No entanto, é necessário verificar se o tempo de ciclo está dentro do limite. O tempo de ciclo desse roteiro é de 409 min (152 + 118 + 139 = 409 min), dentro do limite de 480 min. Dessa forma é possível criarmos o roteiro, formado por esse par:

roteiro nº 1 ≡ 2 - 5

O próximo arco do quadro é formado pelo par (1,4). Esse arco não tem nenhum dos nós contidos no roteiro já formado. Criamos, assim, um novo roteiro, formado por esse par:

roteiro nº 2 ≡ 1 - 4

Notar que o tempo de ciclo, 145 + 110 + 123 = 378 min, está dentro do limite do problema.

Passando ao arco seguinte (2,3), vê-se que o nó 2 pertence ao roteiro nº 1. Neste caso o nó 2 é extremo do roteiro nº 1. Assim, o roteiro nº 1 poderá ser estendido para 3 - 2 - 5. Mas, para isso, é necessário verificar se o tempo de ciclo está dentro do limite. O tempo de ciclo do roteiro 3 - 2 - 5 é de 79 + 73 + 118 + 139 = 409 min dentro do limite de 480 min. Assim, o roteiro nº 1 fica ampliado para:

roteiro nº 1 ≡ 3 - 2 - 5

Consideremos o quarto arco da escala, que é formado pelo par (1,2). Neste caso o nó 1 é extremo do roteiro nº 2 e o nó 2 não é extremo do roteiro nº 1. Caso ambos os nós fossem extremos de roteiros diferentes poderíamos tentar juntá-los, respeitado o limite de tempo.

Passemos ao quinto par da lista de economias (Quadro 3.2). Trata-se do arco (3,5). Ambos os nós já pertencem ao roteiro nº 1.

O sexto arco da lista de economias (Quadro 3.2) é formado pelo par (2,4). Notamos que o nó 2 pertence ao roteiro nº 1 e o nó 4 faz parte do roteiro nº 2. Apesar de o nó 4 ser extremo do roteiro nº 2 , o nó 2 é interior ao roteiro nº 1. Caso ambos os nós fossem extremos de roteiros diferentes poderíamos tentar juntá-los, respeitado o limite de tempo. No caso isso não é possível, já que o nó 2 não é ponto extremo do roteiro nº 1.

O sétimo arco da lista é formado pelo par (3,4). Neste caso o nó 3 é extremo do roteiro nº 1, e o nó 4 é extremo do roteiro nº 2. Assim, poderíamos tentar juntá-los, formando o roteiro 3 - 2 - 5 - 1 - 4. Porém, o tempo de ciclo de 711 min (145 + 110 + 126 + 73 + 118 + 139 = 711 min) inviabiliza essa configuração.

O mesmo princípio se aplica aos arcos (1,5), (1,3) e (4,5), com tempo de ciclo de:

(79 + 73 + 118 + 267 + 110 + 123 = 770 min),
(123 + 110 + 222 + 73 + 118 + 139 = 785 min) e
(79 + 73 + 118 + 262 + 110 + 145 = 787 min) ,

respectivamente.

Dessa forma, a solução final é formada por dois roteiros dados por:

$s \Rightarrow 3 \Rightarrow 2 \Rightarrow 5 \Rightarrow s$ e $s \Rightarrow 1 \Rightarrow 4 \Rightarrow s$ com tempo de ciclo de 409 e 378 min, respectivamente.

3.6.1.3 - Exemplo 3

Determinar os roteiros otimizados para um veículo que atenda os 5 nós apresentados na Fig. 3.12, a partir da Sede s.

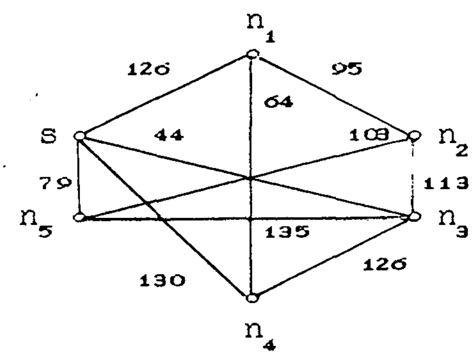


Fig. 3.12 - Grafo do Exemplo 3

Os resultados obtidos na aplicação do método de Floyd para calcular os tempos de mínimo custo gasto entre os 6 pontos, a Sede e mais cinco nós, são:

nó inicial	nó final	custo
S	n_1	126 min
S	n_2	157 min
S	n_3	44 min
S	n_4	130 min
S	n_5	79 min
n_1	n_2	95 min
n_1	n_3	170 min
n_1	n_4	64 min
n_1	n_5	198 min
n_2	n_3	113 min
n_2	n_4	159 min
n_2	n_5	103 min
n_3	n_4	126 min
n_3	n_5	123 min
n_4	n_5	209 min

Os cálculos das economias para os 15 pares, utilizando a expressão (3.6), são:

$$
\begin{aligned}
e_{12} &= 126 + 157 - 95 = 188 \text{ min} \\
e_{13} &= 126 + 44 - 170 = 0 \text{ min} \\
e_{14} &= 126 + 130 - 64 = 192 \text{ min} \\
e_{15} &= 126 + 79 - 198 = 7 \text{ min} \\
e_{23} &= 157 + 44 - 113 = 88 \text{ min} \\
e_{24} &= 157 + 130 - 159 = 128 \text{ min} \\
e_{25} &= 157 + 79 - 103 = 133 \text{ min} \\
e_{34} &= 44 + 130 - 126 = 48 \text{ min} \\
e_{35} &= 44 + 79 - 123 = 0 \text{ min} \\
e_{45} &= 130 + 79 - 209 = 0 \text{ min}
\end{aligned}
$$

Colocando os 10 pares (i,j) na escala decrescente das economias, temos:

Quadro 3.3 - Ligações e Respectivas Economias

Arco	Economia
(1,4)	192 min
(1,2)	188 min
(2,5)	133 min
(2,4)	128 min
(2,3)	88 min
(3,4)	48 min
(1,5)	7 min
(1,3)	0 min
(3,5)	0 min
(4,5)	0 min

O primeiro arco, formado pelo par (1,4), cria um roteiro, formado por esse par:

roteiro nº 1 ≡ 1 - 4

Notar que o tempo de ciclo (126 + 64 + 130 = 320 min) está dentro do limite do problema.

O arco seguinte (o segundo) é formado pelo par (1,2). Há somente um nó em comum com o roteiro nº 1 (nó 1). Esse nó comum, além disso, é extremo do roteiro nº 1. Assim, o roteiro nº 1 poderá ser estendido para 2 - 1 - 4. Mas, para isso, é necessário verificar se o tempo de ciclo está dentro do limite. O tempo de ciclo do roteiro 2 - 1 - 4 é de 446 min (157 + 95 + 64 + 130 = 446 min), dentro do limite de 480 min. Assim, o roteiro nº 1 fica ampliado para:

roteiro nº 1 ≡ 2 - 1 - 4

Passando ao arco (2,5) o mesmo princípio anterior se aplica. Notamos que o único nó em comum com o roteiro n° 1 é o nó 2, sendo esse nó um ponto extremo. Consideramos assim a expansão potencial do roteiro, para 5 - 2 - 1 - 4, com tempo de ciclo de 79 + 103 + 95 + 64 + 130 = 471 min, abaixo do limite. O roteiro n° 1 é expandido então para:

roteiro n° 1 ≡ 5 - 2 - 1 - 4

Os nós 2 e 4, que formam o arco n° 4, já pertencem ao roteiro n° 1.

O quinto arco é formado pelo par (2,3). Há apenas um nó em comum com o roteiro n° 1 (o nó 2). No entanto, o nó 2 não é extremo do roteiro n° 1 (isto é, não é nem o primeiro, nem o último). Porisso desconsideramos o arco (2,3).

Passamos agora ao arco n° 6 do quadro de economias, formado pelo par (3,4). Potencialmente seria possível integrá-lo ao roteiro n° 1 porque apenas um dos nós do arco (o nó 4) pertence ao roteiro em questão, e esse é um extremo do roteiro (último nó da série). No entanto, o tempo de ciclo seria de 511 min (79 + 103 + 95 + 64 + 126 + 44 = 511 min), acima da restrição. Dessa forma não é possível expandir o roteiro n° 1 com o nó 4.

O próximo arco do quadro é formado pelo par (1,5). Ambos os nós já pertencem ao roteiro n° 1.

Passando ao arco seguinte (1,3), vê-se que o nó 1 pertence ao roteiro n° 1. No entanto, o nó 1 não é extremo do roteiro n° 1. Porisso descartamos o arco (1,3).

Passemos ao nono par da lista de economias (Quadro 3.3). Trata-se do arco (3,5). Há apenas um nó em comum (nó 5), sendo esse nó extremo do roteiro n° 1. Potencialmente podemos então considerar o roteiro expandido 3 - 5 - 2 - 1 - 4. O tempo de ciclo desse roteiro-potencial viola a restrição de tempo, pois é de 44 + 123 + 103 + 95 + 64 + 130 = 559 min. Porisso o roteiro 5 - 2 - 1 - 4 não pode incluir o nó 3, permanecendo no estado anterior: 5 - 2 - 1 - 4.

Consideremos finalmente o último arco da escala, que é formado pelo par (4,5). Ambos os nós já pertencem ao roteiro n° 1.

Dessa forma, a solução final é formada por dois roteiros dados por:

$s \Rightarrow 5 \Rightarrow 2 \Rightarrow 1 \Rightarrow 4 \Rightarrow s$ e $s \Rightarrow 3 \Rightarrow s$ com tempo de ciclo de 471 e 88 min, respectivamente.

CAPÍTULO IV

O MODELO MATEMÁTICO

4.1 - Formulação

4.1.1 - Alterações no Número de Nós

Ao analisarmos o problema, verificamos que o mesmo poderia sofrer algumas modificações, em relação aos nós, as quais trariam benefícios para a sua resolução.

Inicialmente constatamos que dos 162 hortos florestais que a empresa Riocell S.A. possui, conforme pode ser visto no item 1.1, nem todos constavam na carta topográfica da empresa. De acordo com os dados obtidos da TM - Engenharia de Florestas, referentes ao ano de 1992, os 14 últimos hortos (Anexo A - Quadro 2), de código 557 a 570, foram arrendados recentemente ou estão em parceria para o plantio. As informações referentes a estes hortos são somente de área e distância à Sede. Este fato possibilitou a não inclusão deles no problema, pois não foi possível caracterizar as estradas nas quais haveria ligações. Assim, o número de hortos a serem analisados ficou reduzido para 148 hortos.

Prosseguindo o trabalho da análise do problema, ao caracterizar as estradas de ligações entre os hortos e também à Sede, verificamos que o horto nº 47 (Anexo A - Quadro 1), de código 48 e cognominado de Terra Dura, possui duas entradas opostas, é relativamente grande (1965,08 ha) e tem a forma de um L. Optamos por dividí-lo em dois, ocasionando a retirada do horto de código 48 e a inclusão dos hortos, com os respectivos, códigos 480 e 481, nomes Terra Dura I e Terra Dura II, áreas 655,06 e 1310,02 ha e distâncias à Sede 38 e 47 km. Com isso, passamos a ter 149 hortos no problema. O acréscimo de um nó e a distância da Sede ao horto Terra Dura (38 km) passar conseqüentemente a ser a distância ao horto Terra Dura I (38 km) e Terra Dura II (47 km), por caminhos diferentes, não acarretou desvantagens que em princípio poderíamos imaginar ao estarmos querendo minimizar o tempo de viagem entre os hortos e a Sede. O fato de criarmos o Terra Dura II possibilitou a conexão desse horto com outros por caminhos diferentes, não mais aqueles que seriam feitos com o horto Terra Dura no qual teríamos que percorrê-lo totalmente. Este percurso dentro do horto é superior aos 47 - 38 = 9 km de acréscimo em estradas e, além disso, o tempo gasto para o deslocamento dentro do horto é maior do que o gasto para percorrer os 9 km de acréscimo.

Por último, um outro fator que nos chamou a atenção foi a existência de hortos interligados. Esta característica, por assim dizer, se refere:

- àqueles hortos em que a estrada os separa, ou seja, um está à esquerda e o outro à direita, conseqüentemente tanto faz irmos a um ou ao outro;
- aos hortos que tenham a mesma porteira, isto é, para se chegar ao segundo devemos percorrer todo o primeiro;
- àqueles hortos que estão na mesma estrada de ligação numa distância, entre eles, em torno de 2 km.

Em virtude do fato de que o tempo gasto para os deslocamentos dos hortos interligados, em relação à Sede e aos demais hortos, ser praticamente o mesmo se analisados isoladamente, foi possível reduzir o número de hortos para 131. Para efeito de identificação, o " horto agrupado " terá como código e nome, o do horto de maior área integrante do agrupamento. A área do " novo horto " será a soma das áreas dos hortos componentes do agrupamento. Apresentamos no Anexo A - Quadro 3, esses agrupamentos.

Acrescentando a Sede administrativa, codificada por 100, aos 131 hortos já existentes, criamos todos os nós para o problema.

4.1.2 - Trabalho no Horto

Com o número de nós efetivamente determinados para o problema (132) surge a necessidade de associarmos a cada nó a existência de unidades amostrais para o inventário florestal. Por isso, criamos uma relação geral de todos os nós (Anexo A -

Quadro 4), especificando o código, nome, coordenadas de localização em relação à Sede e o número de unidades amostrais para cada tipo de inventário florestal.

Conforme pode ser visto (Anexo A - Quadro 4), em relação aos 131 hortos, 60 deles não possuem unidades amostrais, isto é, florestas não plantadas ou com menos de 3 anos. Os 71 restantes possuem inventários a serem feitos.

Podemos observar também que são 52 hortos que possuem unidades amostrais para o inventário florestal contínuo e 46 para o pré-corte.

Constatamos, ainda, que 27 hortos possuem unidades amostrais para os inventários florestais pré-corte e contínuo, 25 só para o contínuo e 19 só para o pré-corte.

4.1.3 - Determinação das Distâncias entre os Nós

Feitas as modificações, verificadas no item 4.1.1, o passo seguinte foi o de encontrar as distâncias entre todos os nós.

Ao analisarmos o mapa rodoviário da região, constatamos a existência de 1189 ligações diretas entre os 132 nós. Essas ligações são compostas por estradas asfaltadas, de terra ou mistas. Para o cálculo do tempo de percurso foi considerado que o veículo ande a uma velocidade de 80 km/h em estradas asfaltadas e 45 km/h nas de terra. Um programa computacional em Pascal efetua esses cálculos e é criado um Arquivo onde são armazenadas todas as 1189 ligações com seus respectivos tempos de percurso. Em cima desse Arquivo é criado um programa para a implementação do Algoritmo de Floyd o qual fornece as distâncias mais curtas entre dois nós com os seus respectivos roteiros. Para tanto, o usuário deverá entrar com o nó inicial e o nó final. As 8646 menores distâncias entre dois hortos quaisquer, C^{2}_{132} de todos os nós do problema, são armazenadas num " Banco de Dados ".

O Algoritmo de Floyd poderia ser substituído se utilizássemos as coordenadas dos nós e aplicássemos a distância euclidiana, distância em linha reta, entre eles. Esses cálculos são utilizados na maioria das aplicações e na estruturação dos modelos reais de transporte. Através de coeficientes corretivos médios podem-se relacionar matematicamente as distâncias efetivas com as distâncias euclidianas, possibilitando assim o tratamento mais realista das aplicações. Estudos nesse sentido podem ser vistos em NOVAES [51 , 52] e STEIN [65] ou em outra formulação por DAGANZO [16]. Para o leitor interessado, os trabalhos de BAASS [1] e OPENSHAW [53] servirão de ponto de partida para uma análise mais aprofundada na divisão de sub-regiões em zonas de cobertura de nós, cuja tarefa analiticamente é mais complexa.

Tomando-se uma amostra de 131 ligações foram determinadas as distâncias euclidiana e a calculada pelo Algoritmo de Floyd (Anexo B - Tabela 3). A escolha dessa amostra se deve ao fato de possuirmos a distância dos 131 hortos à Sede (Anexo A - Quadros 1 e 2), utilizadas pela TM - Engenharia de Florestas.

O coeficiente médio corretivo encontrado para a referida amostra foi 2,1361427.

A soma encontrada para as distâncias da Sede aos 131 hortos foi de 10264 km se utilizarmos os dados da TM - Engenharia de Florestas, 10019,2 km se aplicarmos o Algoritmo de Floyd e 10409,7 km se usarmos a distância euclidiana corrigida (fator corretivo x distância euclidiana).

Em razão de os valores dessas somas não serem próximos, um estudo foi feito entre as 131 ligações Sede-Horto nas quais 119 são trajetórias mistas, 12 compostas por estradas só de terra e, conseqüentemente, nenhuma exclusivamente de asfalto. Das 119 trajetórias compostas por terra-asfalto, em 90 delas predomina o asfalto, 5 possuem um pouco mais de asfalto do que terra, 12 possuem um pouco mais de terra do que asfalto e em 12 predomina a estrada de chão batido. Os dados, para cada horto, em relação a distância à Sede, a caracterização da estrada e o coeficiente de correção estão no Anexo C.

A constatação inicialmente obtida foi de que as variações dos coeficientes de correção são muitas. Por esse motivo não foi possível chegarmos a uma conclusão definitiva, mas pôde-se, isso sim, comprovar algumas situações que tendem a surgir, como por exemplo:

- para variações de distâncias entre hortos superiores a 10 %, os valores obtidos para o coeficiente de correção não são confiáveis;

- diminuindo-se ou aumentando-se a percentagem de estradas de terra na composição do trajeto, o coeficiente de correção tende a diminuir ou aumentar, respectivamente;

- o coeficiente médio de correção se adapta melhor para distâncias de 124 a 135 km, com média de 129,6 km, na condição de que tenhamos de 28,4 a 34,5 % de estradas de terra na composição do trajeto, com média de 31,3 %. O coeficiente de correção, nesse caso, varia de 2,1271926 a 2,1427465 e a média fica em 2,1373228, bem próxima do coeficiente médio (2,1361427), ocasionando uma pequena diferença de 0,0011801;

- dois hortos, n^{os} 21 e 132, são as exceções das situações apresentadas pelos 129 restantes. Para o horto n^{o} 132 existe uma justificativa: o coeficiente de correção encontrado para esse horto (4,2770599) foi calculado em relação à distância utilizada pela TM - Engenharia de Florestas (100 km). O valor encontrado para a distância calculada pelo Algoritmo de Floyd é de 44 km, sendo uma ligação direta composta de 15 km de estradas de terra e 29 km de estradas asfaltadas. Uma vez que esse valor está correto, se comparado com os caminhos no mapa, e que o da distância euclidiana corrigida é bem próximo a ele (49,9 km) e bem distante da distância utilizada pela TM - Engenharia de Florestas (100 km) verificamos que o coeficiente de correção para esse horto poderia ser obtido em relação à média dessas distâncias, a euclidiana corrigida e a calculada pelo Algoritmo de Floyd, e chegaríamos ao valor de 2,0080796. Sendo assim, o horto n^{o} 132 deveria ficar entre os hortos n^{os} 19 , 14 , 44 , 64 e 2 , 84 , 108 (apresentados nos dados do estudo feito, acima, entre as 131 ligações Sede-Horto), com os seguintes resultados:

- Distância média: 46,9 km
- Redução: 0,6 % da distância anterior
- Caracterização: 34,1 % de estradas de terra
- Coeficiente de correção: 2,0080796.

4.1.3.1 - Novo Cálculo do Coeficiente Médio Corretivo

De acordo com as comprovações de algumas situações para as variações dos coeficientes de correção, vistas no item 4.1.3, foi recalculado o coeficiente corretivo para amenizar as discrepâncias entre as somas das distâncias utilizadas pela TM - Engenharia de Florestas e as euclidianas corrigidas.

O coeficiente de correção tende a decrescer, em relação às condições ideais de distâncias em torno de 129,6 km e 31,3 % de estradas de terra na composição do trajeto, devido ao simples fato de, simultaneamente:

- diminuirmos a distância (21,2 a 50,1 %) e aumentarmos as estradas de terra na composição do trajeto (31 a 53,4 %);
- diminuirmos a distância (em torno de 22 %) e conservarmos as estradas de terra na composição do trajeto (em torno de 2 %);
- diminuirmos a distância (em torno de 65 %) e as estradas de terra na composição do trajeto (em torno de 11 %);
- diminuirmos a distância (em torno de 96 %) e aumentarmos as estradas de terra na composição do trajeto (em torno de 68 %).

Em virtude dessas novas constatações, retiramos os hortos em que as suas ligações à Sede estão em torno de 85 km, compostas por estradas com um pouco mais de terra do que asfalto, ocasionando obviamente a redução do coeficiente de correção. O resultado obtido é o seguinte:

1ª Retirada:
Horto nº 125
Composição: 64,7 % de estradas de terra
Horto nº 52
Composição: 60,0 % de estradas de terra
Redução: 106,398 km da distância total

Resultado: o " novo coeficiente médio de correção " fica sendo 2,1143091, modificando a soma das distâncias euclidianas corrigidas de 10409,7 km para 10303,302 km, bem mais próxima dos 10264 km " oficiais ", mas ainda distante dos 10019,2 km obtidos pelo Algoritmo de Floyd.

Retiramos, agora, o horto em que a sua ligação à Sede está em torno de 100 km e é composta por estradas com um pouco mais de asfalto do que terra. É o seguinte o resultado obtido:

2ª Retirada:

Horto nº 132

Composição: 34,0 % de estradas de terra

Redução: 82,339 km da distância anterior

Resultado: agora o " novo coeficiente médio de correção " fica sendo 2,0974126, alterando a soma das distâncias euclidianas corrigidas de 10303,302 km para 10220,963 km, abaixo da soma das distâncias utilizada pela TM - Engenharia de Florestas (10264 km), mas ainda com uma diferença de 201,763 km em relação à calculada pelo Algoritmo de Floyd.

O coeficiente de correção será novamente recalculdo, mas agora para obtermos um valor que faça com que a nova soma das distâncias euclidianas corrigidas (10220,963 km) fique próxima da soma das distâncias calculadas pelo Algoritmo de Floyd (10019,2 km).

A redução do coeficiente de correção pode ser obtida nas seguintes situações:

- Retirando-se o horto em que a sua ligação à Sede está em torno de 92 km, 10 % acima da quilometragem da 1ª retirada, mas com a mesma composição de estradas, ou seja, com um pouco mais de terra do que asfalto, tem-se o seguinte resultado:

3ª Retirada:

Horto nº 113

Composição: 67,3 % de estradas de terra

Redução: 55,793 km da distância anterior

Resultado: o " novo coeficiente médio de correção " é 2,0859634. A soma das distâncias euclidianas corrigidas é 10165,17 km e a diferença em relação à calculada pelo Algoritmo de Floyd é de 145,97 km.

- Retirando-se o horto em que a sua ligação à Sede está em torno de 102 km, 10 % acima da quilometragem anterior, mas continuando com a mesma composição de estradas, obtêm-se o seguinte resultado:

4ª Retirada:
Horto nº 109
Composição: 70,0 % de estradas de terra
Redução: 55,667 km da distância anterior
Resultado: o " novo coeficiente médio de correção " é 2,0745401. A soma das distâncias euclidianas corrigidas é 10109,503 km e a diferença em relação à calculada pelo Algoritmo de Floyd é de 90,303 km.

- Retirando-se os hortos em que as suas ligações à Sede estão em torno de 45,3 km e na composição das estradas predomina o asfalto resulta na seguinte situação:

5ª Retirada:
Hortos nºs 19 , 44 e 108
Composição: 19,9 % de estradas de terra
Redução: 8,142 km da distância anterior
Resultado: o " novo coeficiente médio de correção " é 2,0728694. A soma das distâncias euclidianas corrigidas é 10101,361 km e a diferença em relação à calculada pelo Algoritmo de Floyd é de 82,161 km.

- Retirando-se os hortos em que as suas ligações à Sede estão em torno de 5,5 km e na composição de estradas predomina a de terra resulta na seguinte situação:

6ª Retirada:
Hortos nºs 11 e 88
Composição: 100 % de estradas de terra
Redução: 29,755 km da distância anterior
Resultado: o " novo coeficiente médio de correção " é 2,0667635. A soma das distâncias euclidianas corrigidas é 10071,606 km e a diferença em relação à calculada pelo Algoritmo de Floyd é de 52,406 km.

- Retirando-se o horto em que a sua ligação à Sede está em torno de 65,0 km e a composição de estradas com um pouco mais de terra do que asfalto resulta na seguinte situação:

7ª Retirada:
Horto nº 43
Composição: 76,6 % de estradas de terra
Redução: 25,823 km da distância anterior

Resultado: o " novo coeficiente médio de correção " é 2,0614646. A soma das distâncias euclidianas corrigidas é 10045,783 km e a diferença em relação à calculada pelo Algoritmo de Floyd é de 26,583 km.

- Retirando-se o horto em que a sua ligação à Sede está em torno de 90,0 km e na composição de estradas predomina a de terra resulta na seguinte situação:

8ª Retirada:
Horto nº 51
Composição: 84,7 % de estradas de terra
Redução: 22,888 km da distância anterior

Resultado: o " novo coeficiente médio de correção " é 2,0567676, com o qual, obtêm-se para a soma das distâncias euclidianas corrigidas da Sede aos 131 hortos o equivalente a 10022,895 km praticamente iguais aos 10019,2 km calculados pelo Algoritmo de Floyd.

4.1.3.2 - Escolha do Cálculo da Distância

Em virtude de os valores das somas, 10022,895 e 10019,20 km, ficarem próximos, agora, surge a necessidade de uma escolha entre o cálculo da distância feito pela euclidiana corrigida ou pelo Algoritmo de Floyd. Para isto, foi necessária uma revisão nas estradas, na composição das trajetórias individuais e, finalmente, nas somas das distâncias. Constatamos, então que:

- Em relação à distância euclidiana corrigida, a soma das distâncias da Sede aos 131 hortos praticamente coincide com a calculada pelo Algoritmo de Floyd. A divergência existe somente para as distâncias individuais (Sede-horto), em razão do exposto acima, ou seja, do ajuste do coeficiente de correção.

- Para o algoritmo de Floyd, as distâncias individuais

(Sede-horto) estavam corretas se comparadas com os caminhos no mapa. Se comparadas, em alguns casos, com os valores fornecidos pela TM - Engenharia de Florestas, não coincidiam. É o caso, por exemplo, entre outros, da ligação Sede ao horto Pinheiros (nº13) em que a distância " oficial " é 50,0 km ao passo que pelo Algoritmo de Floyd é encontrada uma ligação: horto nº 13 - horto nº 85 - Sede composta de 30,7 km de estrada de terra e 10,0 km de estrada asfaltada, totalizando em 40,7 km. A conclusão a que se chega, como os dados não estão errados, é de que criamos um caminho melhor que o utilizado. Com isso, atingimos um dos objetivos do problema que é o de minimizar as distâncias entre os nós.

Em virtude disso, optamos pelo Algoritmo de Floyd, nesse grafo de 132 nós com 1189 arcos, para a determinação do caminho mais curto entre esses nós.

Apesar de estarmos preocupados somente com os 52 hortos que possuem inventário florestal contínuo, a inclusão de todos os nós se deve ao fato de que nem sempre a ligação direta entre dois nós é a mais curta entre eles.

Verificamos, após a implementação do algoritmo de Floyd, que, das 8646 combinações possíveis, 820 caminhos mais curtos são de ligações diretas e 7826 não o são, isto é, existe pelo menos um horto entre os dois entre os quais estamos querendo determinar o caminho mais curto.

4.1.4 - Roteiro de Mínimo Custo

Determinada a distância mais curta entre todos os nós, podem-se, agora, criar roteiros de mínimo custo passando por esses nós. Para tanto, dever-se-á entrar com os 52 hortos que possuem inventário florestal contínuo.

A opção da escolha do inventário florestal se deve ao fato de que o número de unidades amostrais para o contínuo (1251 UA) é bem menor que as do Pré-corte (7090 UA) conseqüentemente, o tempo de trabalho dentro do horto para o inventário contínuo é bem menor do que o tempo de trabalho dentro do horto para o inventário pré-corte, uma vez que o tempo de trabalho dispendido para cada unidade é de 20 minutos, independente do tipo de inventário. Pode-se concluir, então, que trabalhando menos dentro do horto devemos viajar mais para completar o tempo diário de trabalho. Como estamos criando o roteiro de mínimo custo, não é de interesse trabalharmos com os hortos que possuem mais trabalho em seu interior e, sim, justamente com aqueles que possuem menos trabalho, pois assim podemos criar roteiros que minimizam a visita a outros hortos.

Os roteiros de mínimo custo para o inventário florestal Pré-corte podem ser encontrados nos estudos feitos por BINFARÉ NETO [5] que cria, para a sua realização, sedes móveis.

A obtenção dos roteiros de mínimo custo para o inventário florestal contínuo é baseada na aplicação do Algoritmo de Clarke-Wrigth. Este algoritmo inicia tomando todos os hortos dois a dois e, em seguida, calcula as " economias " para cada par. Posteriormente, cria-se uma lista colocando-se esses pares em ordem decrescente de suas " economias ", conforme pode ser visto em 3.6.

Ao aplicarmos o Algoritmo de Clarke-Wrigth, constatamos que o mesmo deixava alguns detalhes sem serem considerados e que certos detalhes traziam modificações que alteravam os resultados finais. Para uma maior compreensão desse fato, vamos criar uma lista e, com ela, iremos caracterizar os referidos detalhes.

Da lista contendo os 1326 pares ordenados colocados em ordem decrescente de " economia ", tomaram-se os dez primeiros e a sua composição, cujos nós estão representados pelos códigos dos hortos, que é a seguinte:

(64 , 81)
(78 , 79)
(63 , 78)
(63 , 64)
(63 , 81)
(63 , 79)
(64 , 78)
(78 , 81)
(64 , 77)
(77 , 81)

As observações constatadas são:

a - O Algoritmo de Clarke-Wright começa com o primeiro par da lista de " economias " , (64 , 81) e, posteriormente , percorre a lista na procura de um outro par que tenha o nó 64 ou o nó 81. Encontra o par (63 , 64), o quarto da lista. Digamos que, com esse par, as restrições de tempo estão preenchidas, ou seja, o dia de trabalho está encerrado. No próximo dia de trabalho, o algoritmo recomeça a procura do primeiro par a partir do par (63 , 64) e não do par (78 , 79), que agora seria realmente o primeiro de uma " nova lista " (atualizada), já que o par (64 , 81) foi excluído da lista, uma vez que os nós 64 e 81 fizeram parte do roteiro anterior. Para a situação em que, no segundo dia, partimos do par (63 , 64), iremos denominar de " percorrendo a lista " e para a outra, isto é, retornando e pegando o par (78 , 79), denominaremos de " início da lista ".

b - Se, em vez de termos encerrado o dia de trabalho com o par (63 , 64) (conforme observação anterior), existisse tempo para a inclusão de outro horto no roteiro, essa nova procura do par poderia ser feita também a partir desse par, (63 , 64), encontrando o par (63 , 79) ou retomando o topo da lista e pegando o par (63 , 78). A denominação para o caso de retomar o topo da lista será " com volta " (C/V) e para o outro caso, em que a procura é feita a partir do último par analisado, será " sem volta " (S/V).

c - Estando com o dia de trabalho não encerrado com o par (63 , 64), procurou-se um outro par (optou-se pelo critério " sem volta ") e foi encontrado o par (63 , 79), conforme observação anterior, mas, agora com o detalhe de não ser possível incluirmos o nó 79 no roteiro por não preencher as restrições de tempo. Denominaremos de " com procura " (C/P) se descartarmos o par (63 , 79) e procurarmos um novo par que satisfaça as restrições de tempo, independente do critério utilizado (" com volta " ou " sem volta "). Denominaremos de " sem procura " (S/P) no caso em que tenhamos descartado o par (63 , 79) e encerrado o dia de trabalho nesse roteiro.

d - Nesse subgrafo de 52 nós, dos 1326 pares possíveis, 347 deles são pares ordenados compostos por nós adjacentes. Isto significa dizer que, entre o nó inicial e o final, não existe horto que possua unidades amostrais para o inventário contínuo na composição de sua trajetória. Essa redução no número de pares, aproximadamente de 73,8%, ocasiona, evidentemente, alterações nessa lista e, conseqüentemente, pode criar roteiros diferentes. Os dez primeiros pares adjacentes da lista de " economias " são os seguintes:

(64 , 81)
(78 , 79)
(63 , 78)
(63 , 81)
(78 , 81)
(77 , 81)
(63 , 77)
(77 , 78)
(77 , 84)
(63 , 501)

Depois de constatadas as observações, foi necessário realizar um estudo em que fosse possível verificar qual das 12 situações encontradas, seria a que melhor se adapta para a resolução do problema.

Inicialmente, dividiram-se essas situações em dois grupos:

- utilizando somente os pares adjacentes, e
- trabalhando com todos os pares ordenados.

Independente da escolha do grupo, pode-se utilizar o critério do " início da lista " ou " percorrendo a lista ".

Para o critério do " início da lista ", pode-se optar pela escolha do " com volta " ou " sem volta " que, por sua vez, podem ser combinados com os outros dois critérios, intitulados de " com procura " ou " sem procura ", totalizando com isso 4 situações.

Em relação ao critério " percorrendo a lista ", as opções são somente para " com procura " ou " sem procura ", não tendo sentido as situações " com volta " ou " sem volta ".

Posteriormente, em razão dessa divisão feita aqui, constatou-se que o Algoritmo de Clarke-Wright trabalha exclusivamente em cima da lista de pares adjacentes de " economias " e somente utiliza a combinação dos critérios " percorrendo a lista " e " com procura ". Para as demais situações pode-se pensar no " Algoritmo Modificado de Clarke-Wright ".

Finalmente, aplicamos o Algoritmo de Clarke-Wright e o " Algoritmo Modificado de Clarke-Wright " para as 5 situações restantes que utilizam somente os pares adjacentes, constatando que os resultados, para cada um dos 6 casos, apresentavam variações. Para acompanhar o comportamento de cada caso, fizeram-se sucessivas retiradas de 3 hortos, cujas unidades amostrais são máxima, mínima e média. Após cada retirada, aplicou-se o Algoritmo de Clarke-Wright e o " Algoritmo Modificado de Clarke-Wright " e os resultados obtidos estão no Anexo B - Tabela 2.

Para as 6 últimas situações , aquelas que utilizam todos os pares ordenados, aplicou-se o " Algoritmo Modificado de Clarke-Wright " e os resultados obtidos estão no Anexo B - Tabela 3.

4.2 - Fluxograma para o Roteiro de Mínimo Custo

4.2.1 - Procedimentos Utilizados no Fluxograma para o Roteiro de Mínimo Custo

1 - Calcular as economias e_{ij} para todos os pares (i,j) com $i \neq j$, $i \neq s$ e $j \neq s$ sendo s a sede.

2 - Colocar os pares (i,j) na ordem decrescente dos valores da economia e_{ij}.

3 - Começar pelo par (i_k,j_k) com maior economia e_{ij}.

4 - Percorrer a lista dos pares na procura de um outro par (i_m,j_m) que tenha o horto i_k ou o horto j_k.

5 - Verificar se $i_k = i_m$.

6 - Começar o dia com o horto j_k. Sabendo-se que os hortos i_k e j_m, nessa ordem, serão os próximos a serem trabalhados.

7 - Verificar se $i_k = j_m$.

8 - Começar o dia com o horto j_k. Sabendo-se que os hortos i_k e i_m, nessa ordem, serão os próximos a serem trabalhados.

9 - Verificar se $j_k = i_m$.

10 - Começar o dia com o horto i_k. Sabendo-se que os hortos j_k e j_m, nessa ordem, serão os próximos a serem

trabalhados.

11 - Verificar se $j_k = j_m$.

12 - Começar o dia com o horto i_k. Sabendo-se que os hortos j_k e i_m, nessa ordem, serão os próximos a serem trabalhados.

13 - Começar o dia com o horto i_k.

14 - Calcular as restrições de tempo (tempo de percurso da Sede ao horto j_k + tempo de trabalho no horto j_k + tempo de percurso do horto j_k à Sede).

15 - Calcular as restrições de tempo (tempo de percurso da Sede ao horto i_k + tempo de trabalho no horto i_k + tempo de percurso do horto i_k à Sede).

16 - Verificar se sobrou tempo.

17 - Voltar para a Sede.

18 - Fim do Dia (Caso A).

19 - Fim do Dia (Caso B).

20 - O trabalho no 1º horto está concluído.

21 - Verificar se o tempo disponível é suficiente para ir ao horto i_k e trabalhar pelo menos o mínimo possível (20 min o equivalente a 1 UA).

22 - Verificar se o tempo disponível é suficiente para ir ao horto j_k e trabalhar pelo menos o mínimo possível (20 min o equivalente a 1 UA).

23 - Fim do Dia (Caso C).

24 - Fim do Dia (Caso D).

25 - Fazer o trabalho no horto i_k.

26 - Fazer o trabalho no horto j_k.

27 - Verificar se o trabalho no horto está concluído.

28 - Fim do Dia (Caso E).

29 - Fim do Dia (Caso F).

30 - Fim do Dia (Caso G).

31 - Fim do Dia (Caso H).

32 - O trabalho no 1º par de hortos está concluído, devendo retornar a lista e começar com um novo par.

33 - O trabalho no 1º par de hortos está concluído, devendo ir ao par (i_m, j_m).

34 - Verificar se o 3º horto a ser trabalhado é o i_m.

35 - Calcular as restrições de tempo (tempo de percurso

da Sede ao horto i_m + tempo de trabalho no horto i_m + tempo de percurso do horto i_m à Sede).

36 - Calcular as restrições de tempo (tempo de percurso da Sede ao horto j_m + tempo de trabalho no horto j_m + tempo de percurso do horto j_m à Sede).

37 - Fim do Dia (Caso I).

38 - Fim do Dia (Caso J).

39 - Percorrer a lista dos pares na procura de um outro par, (i_m,j_m), que tenha o horto i_m ou o horto j_m. Esta procura, pode ser feita começando pelo par (i_{k+1},j_{k+1}) , que agora é o 1º par da lista, ou começando pelo par (i_{m+1},j_{m+1}). Se começarmos pelo par (i_{k+1},j_{k+1}) iremos denominar de " com volta ", caso contrário, denominaremos de " sem volta ".

40 - Esse processo de procura de um novo par se repete até que as restrições de tempo de viagem ou de trabalho não possam ser atendidas.

41 - Fim do 1º Dia.

42 - Começar o Dia com o horto j_k.

43 - O trabalho no 1º par de hortos, (i_k,j_k), está concluído. Devemos retornar a lista e começar, o novo dia, com um novo par. Esse par poderia ser (i_{k+1},j_{k+1}), o 1º par da lista de economias, ou o par (i_m,j_m), indicado no dia anterior. Se começarmos o dia pelo par (i_{k+1},j_{k+1}) iremos denominar de " início da lista ", caso contrário, denominaremos de " percorrendo a lista ".

44 - Fazer k = k + 1.

45 - Começar o dia com o horto i_m.

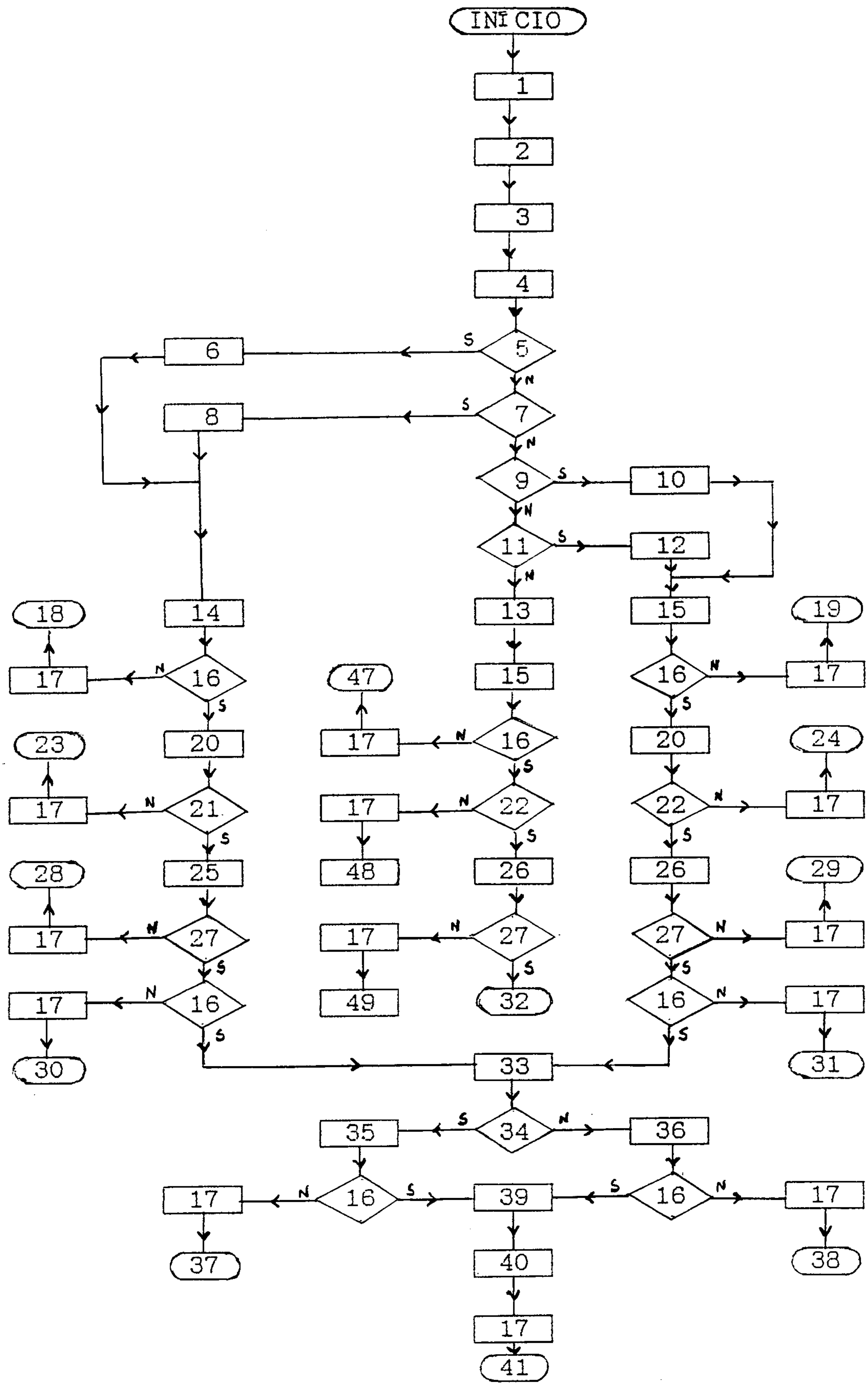
46 - Começar o dia com o horto j_m.

47 - Fim do Dia (Caso K).

48 - Fim do Dia (Caso L).

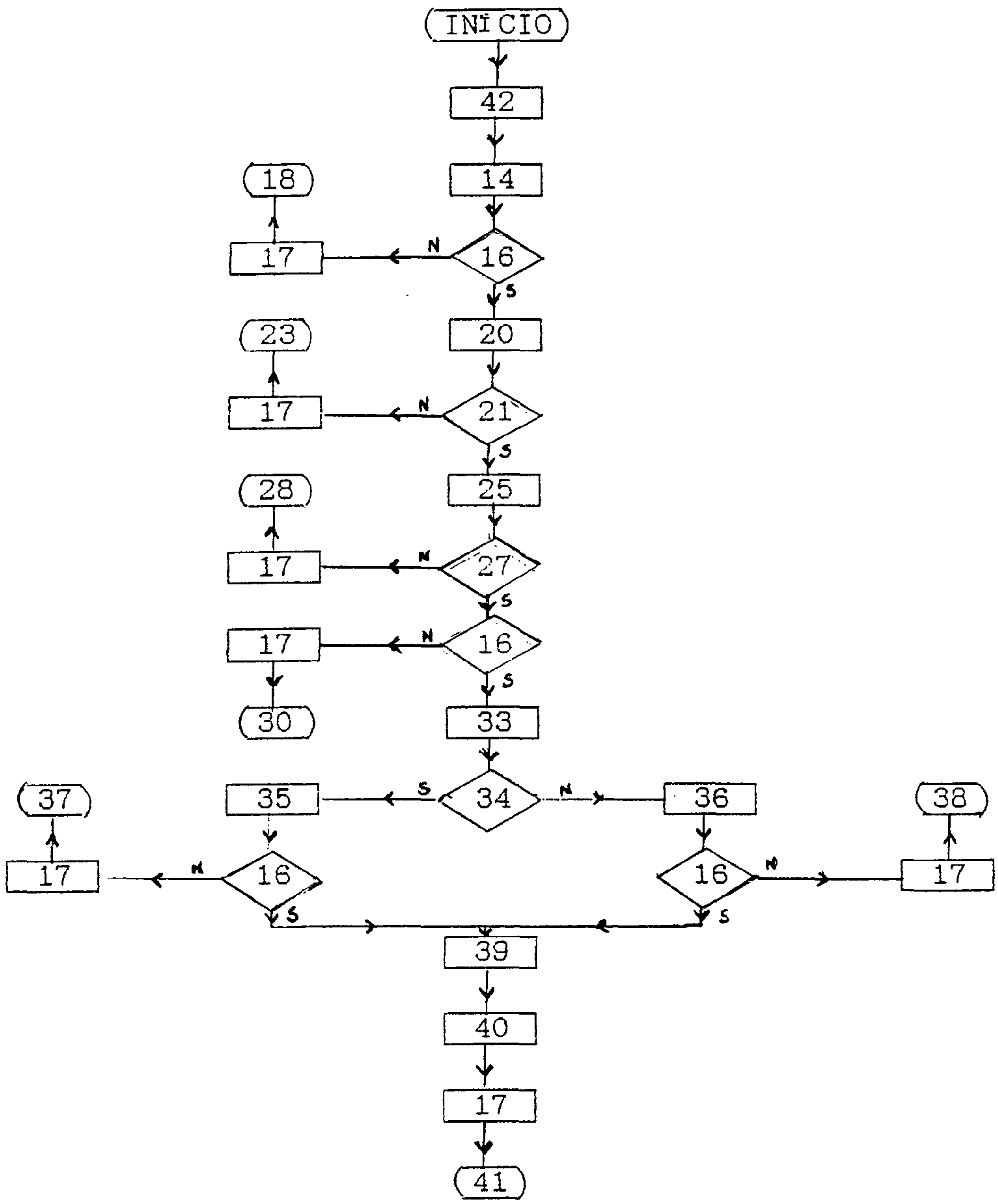
49 - Fim do Dia (Caso M)

4.2.2 - Primeiro Dia de Trabalho

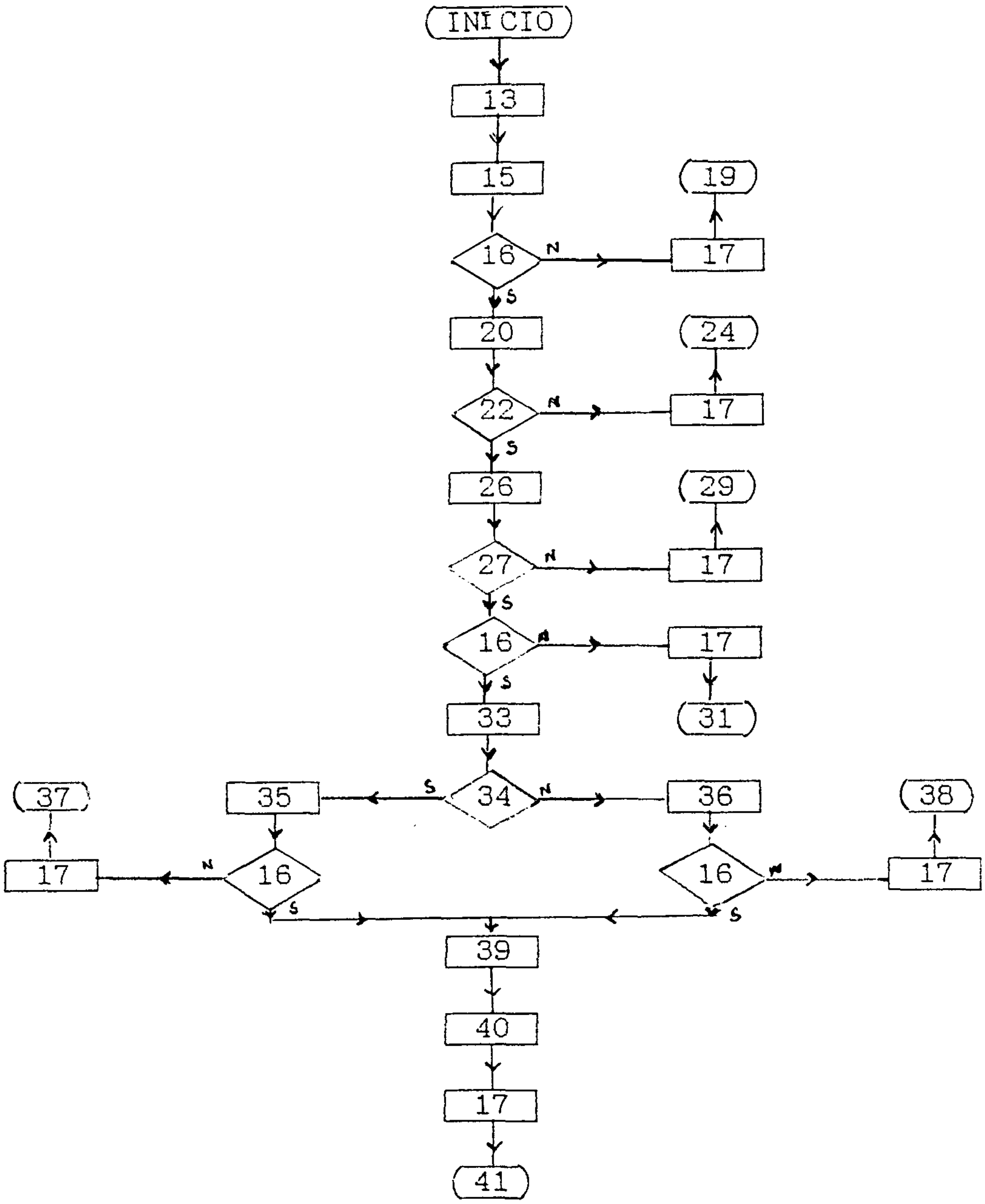


4.2.3 - Próximo Dia de Trabalho

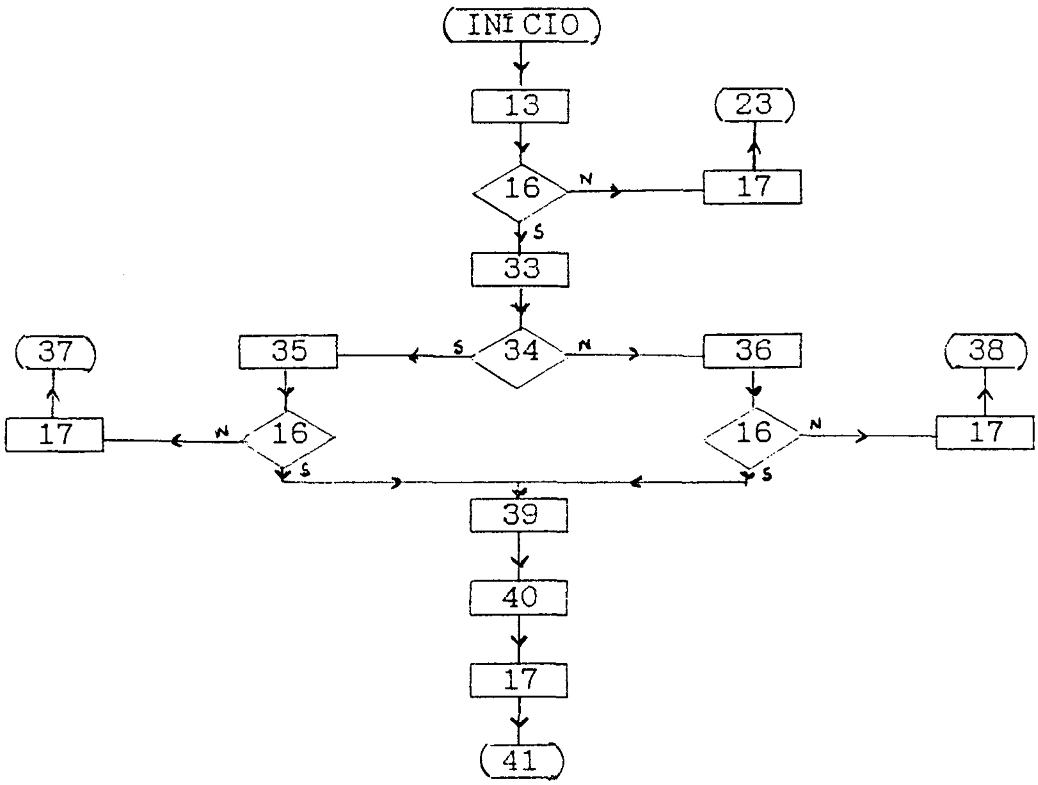
4.2.3.1 - Se o Dia Anterior tenha Encerrado com o Caso A



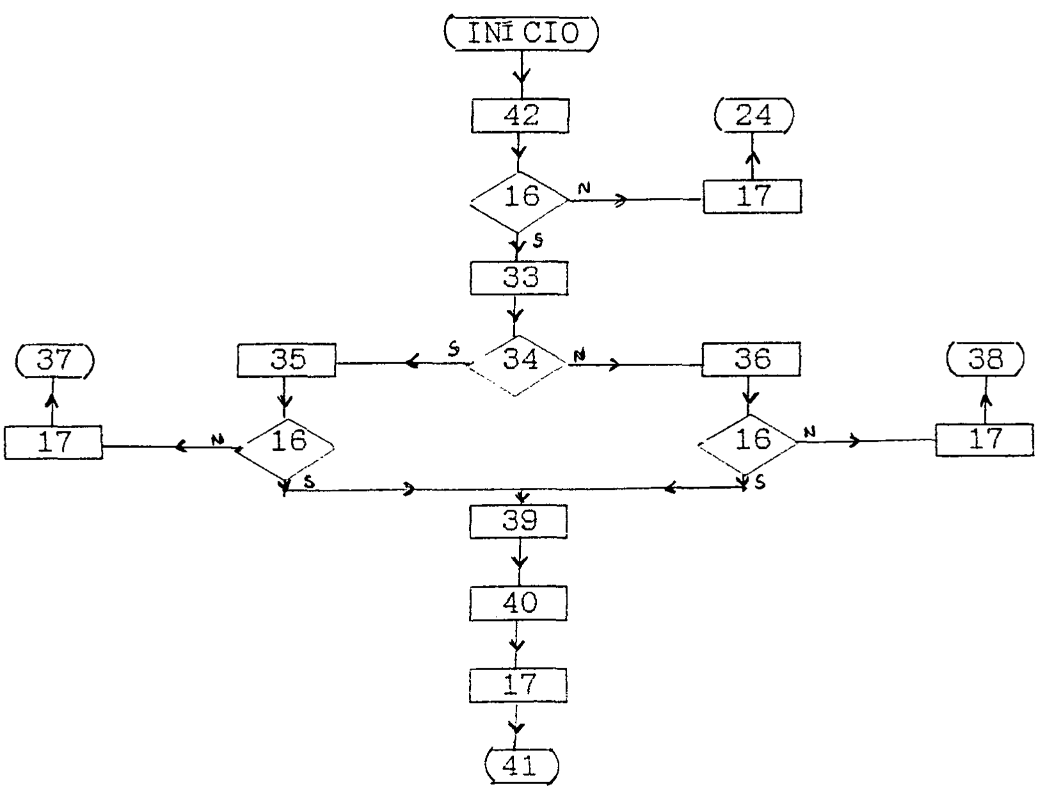
4.2.3.2 - Se o Dia Anterior tenha Encerrado com o Caso B



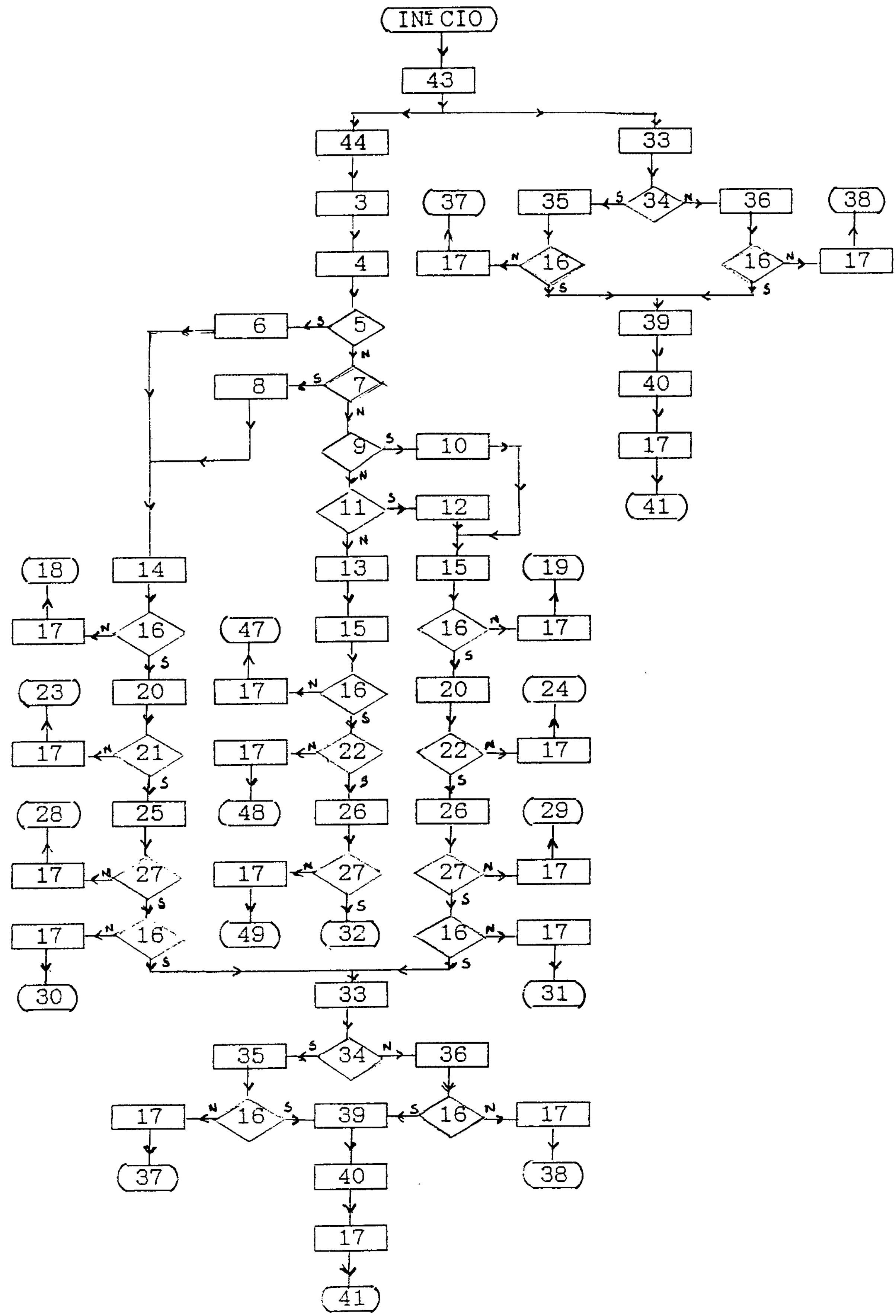
4.2.3.3 - Se o Dia Anterior tenha Encerrado com o Caso C ou Caso E



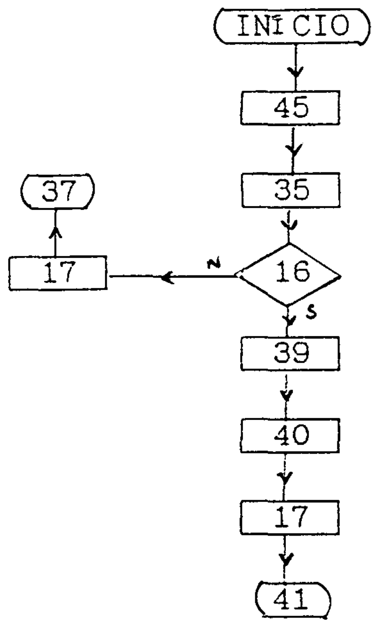
4.2.3.4 - Se o Dia Anterior tenha Encerrado com o Caso D ou Caso F



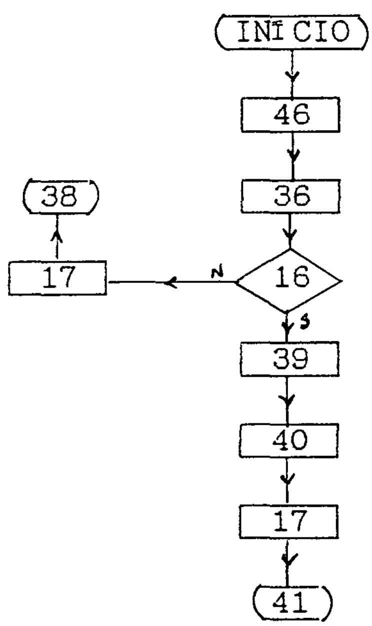
4.2.3.5 - Se o Dia Anterior Tenha Encerrado com o Caso G ou Caso H



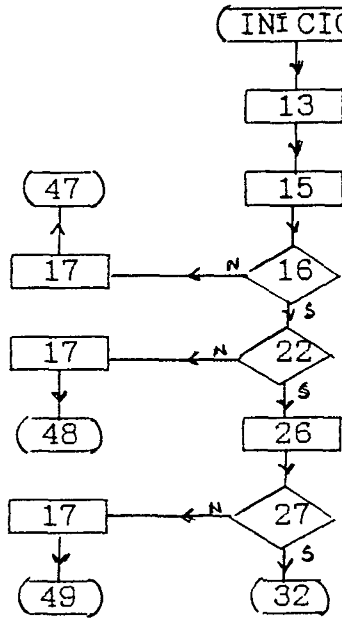
4.2.3.6 - Se o Dia Anterior tenha Encerrado com o Caso I



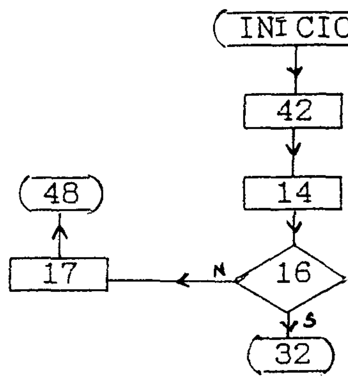
4.2.3.7 - Se o Dia Anterior tenha Encerrado com o Caso J



4.2.3.8 - Se o Dia Anterior tenha Encerrado com o Caso K



4.2.3.9 - Se o Dia Anterior tenha Encerrado com o Caso L ou Caso M



4.3 - Análise dos Resultados

Realizado o estudo, constatamos que:

- para um número pequeno de pares ordenados compondo a lista de " economias " (até 10), a diversificação dos critérios é praticamente nula. Não têm sentido os critérios de " percorrer a lista ", ou " com procura ", ou " com volta ";

- para um número um pouco maior de pares ordenados compondo a lista de " economias " (até 90), é possível constatar uma pequena vantagem na utilização do critério " início da lista " em relação ao " percorrendo a lista ". Vê-se, também que as quatro situações possíveis para o critério " início da lista " não sofrem alterações;

- para um número maior que 100 pares ordenados compondo a lista de " economias ", a diferença em relação aos critérios " percorrendo a lista " e " início da lista " é bem mais acentuada em relação à constatação anterior. Verificamos, ainda, que começam a surgir pequenas variações nas 4 situações possíveis para o critério " início da lista " e, não sendo possível, a escolha da melhor.

4.4 - Escolha das Condições para o Método de Resolução

Em virtude das constatações apresentadas no item 4.2, o método de resolução do problema da criação dos roteiros de mínimo custo, nos 52 hortos para a realização do inventário florestal contínuo, será feita com:

- o maior número de pares ordenados: com isto exclui-se a lista de pares adjacentes e trabalha-se com todos os pares ordenados - conseqüentemente, deixa-se de usar o " Algoritmo de Clarke-Wright " para usar o " Algoritmo Modificado de Clarke-Wright ";

- o critério do " início da lista ", pois apresenta uma diferença em torno 11,6 % em relação ao critério de " percorrendo a lista ", de acordo com o Tabela 2;

- as situações " sem procura " e " com volta ", simplesmente em razão de terem apresentado um resultado um pouco melhor que o das outras três.

4.5 - Um Algoritmo para Roteirização com Restrições de Tempos de Viagens e de Trabalho

De acordo com as condições, apresentadas no item 4.3, para o método de resolução do problema da criação dos roteiros de mínimo custo criou-se o algoritmo para determinar a rota diária de mínimo custo com restrições de tempos de viagens (Sede-nós-Sede) e de trabalho no nó.

O algoritmo é apresentado no item 4.5.2 e o fluxograma correspondente é apresentado na Fig. 4.1.

4.5.1 - Lista dos Significados da Simbologia Utilizada no Algoritmo e no Fluxograma do Algoritmo

e_{ij} - Economia relativa aos nós i e j. A economia obtida, em termos de percurso, é o percurso ao passar pelos nós i e j subtraído da soma dos percursos isolados de cada nó.

i - O primeiro nó do par (i,j).

(i,j) - Par de nós.

i_k - Primeiro nó do par (i,j), de ordem k, da lista dos pares que estão colocados na ordem decrescente dos valores da economia e_{ij}.

j - O segundo nó do par (i,j).

j_k - Segundo nó do par (i,j), de ordem k, da lista dos pares que estão colocados na ordem decrescente dos valores da economia e_{ij}.

k - Posição do par (i,j) da lista dos pares que estão colocados na ordem decrescente dos valores da economia e_{ij}.

n - Posição do par que vai ser trabalhado (i,j) da lista dos pares que estão colocados na ordem decrescente dos valores da economia e_{ij}.

s - Sede Administrativa.

S_n - Par seguinte, de ordem n, ao par de ordem k.

S_{n+1} - Par seguinte, de ordem n+1, ao par de ordem n.

T - Indicador do par seguinte ao último.

4.5.2 - Algoritmo

Passo Inicial

Calcular as economias e_{ij} para os pares (i,j) com $i \neq j$, $i \neq s$ e $j \neq s$. Colocar os pares (i.j) na ordem decrescente dos valores da economia e_{ij}. Fazer o indicador da posição do par (i,j) na lista k = 1 e ir ao passo principal.

Passo Principal

P1 - Fazer n = 1 e ir ao passo P2.

P2 - Se k = T, então FIM; senão, tomar o par (i_k, j_k) e ir ao passo P3.

P3 - Se i_k está pronto, então ir ao passo P4; senão, ir ao passo P5.

P4 - Se j_k está pronto, então fazer k = k + 1 e voltar ao passo P1; senão, trabalhar no j_k, procurar S_n com a componente j_k e ir ao passo P6.

P5 - Se j_k está pronto, então trabalhar no i_k, procurar S_n com a componente i_k e ir ao passo P6; senão, procurar S_n com a componente i_k ou j_k e ir ao passo P7.

P6 - Se encontrou S_n, então ir ao passo P8; senão, fazer k = k + 1 e voltar ao passo P1.

P7 - Se encontrou i_k, então trabalhar no j_k, trabalhar no i_k e ir ao passo P8; senão, ir ao passo P9.

P8 - Se sobrar tempo, então ir para a outra componente do S_n, determinar S_{n+1} com essa outra componente do S_n e ir ao passo P10; senão, fazer k = k + 1 e voltar ao passo P1.

P9 - Se encontrou j_k, então trabalhar no i_k, trabalhar no j_k e voltar ao passo P8; senão, trabalhar no i_k, trabalhar no j_k, fazer k = k + 1 e voltar ao passo P1.

P10 - Se existir S_{n+1}, então trabalhar com a componente de S_n, fazer n = n + 1 e voltar ao passo P8; senão, trabalhar com a componente de S_n, fazer k = k + 1 e voltar ao passo P1.

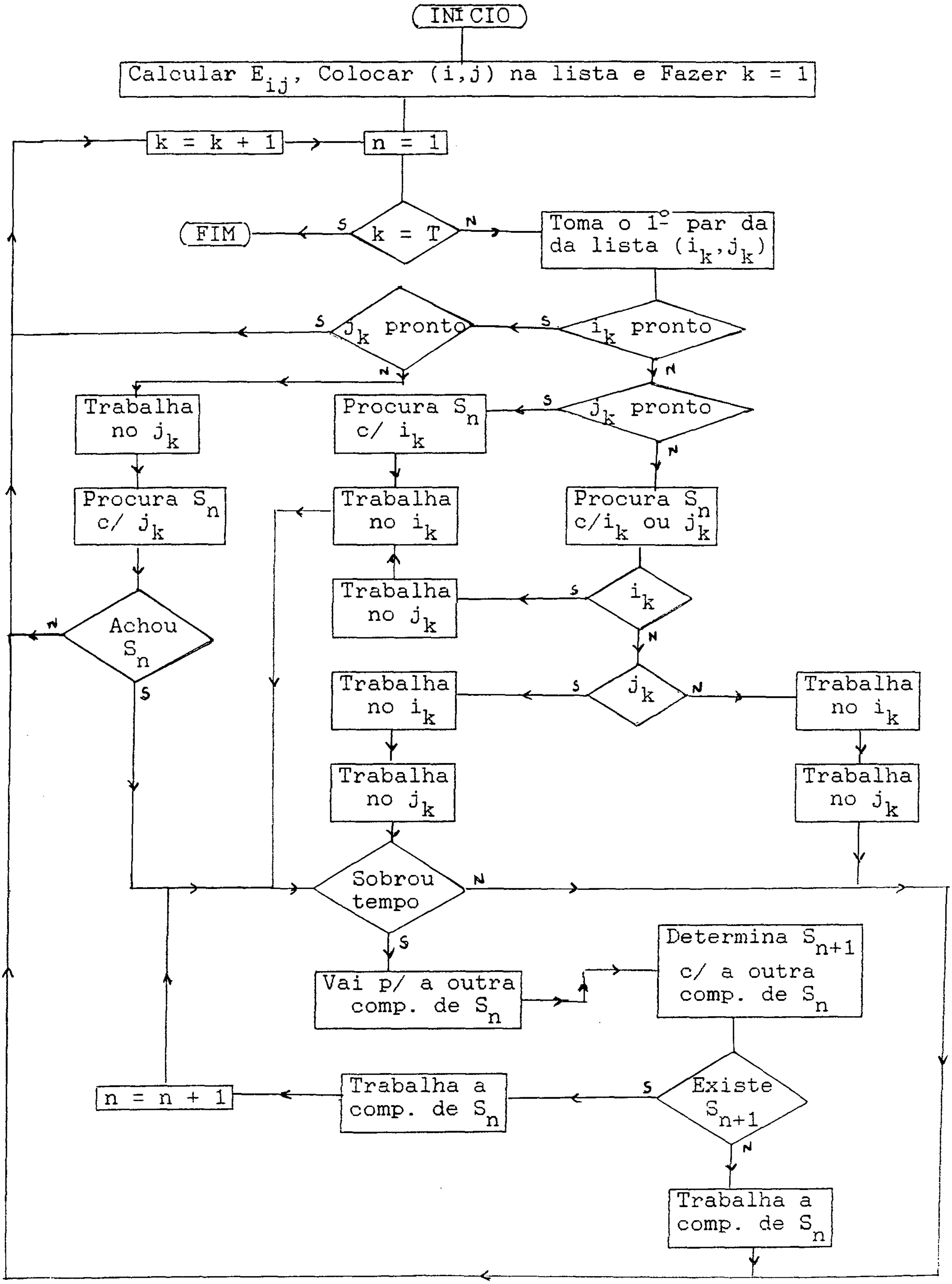


Fig. 4.1 - Fluxograma do Algoritmo

CAPÍTULO V

A IMPLEMENTAÇÃO DO ALGORITMO

5.1 - Introdução

Este capítulo trata da implementação do Algoritmo Modificado de Clarke-Wright para a resolução do problema de roteirização com restrição de tempo (limitado pela jornada de trabalho da equipe) não só nas viagens, mas também, no trabalho dentro do horto para a realização do Inventário Florestal Contínuo.

Para a implementação do algoritmo, foram utilizados: uma unidade, 3 arquivos tipo texto, 4 arquivos tipo binário e 5 programas em pascal.

5.1.1 - Unidade (Unit)

A finalidade da criação da Unidade, denominada de Base, foi para aglutinar o que seria usado nos progamas em termos de uma lista de: procedimentos, funções, variáveis, tipos de variáveis e constantes. E também, inserir os comandos ou instruções que a compõem através da Implementação (Implementation). Apresentaremos essa Unidade no Anexo D.

5.1.2 - Arquivos Tipo Texto (.Txt)

Esses arquivos foram usados para gravar textos. Todos eles são extensos, por isso, iremos apenas informar a sua composição, extensão e estruturação.

5.1.2.1 - Arestas.txt

É o arquivo que contém as 1189 ligações diretas entre hortos entre si ou com a Sede (estão representados pelos seus códigos), com o seu respectivo tempo de percurso em minutos. Possui 1194 linhas.

Estruturado da seguinte forma:

Número	HortoInicial	Horto Final	Tempo
1	100	11	5
2	100	35	17
3	100	503	8
4	100	72	21
5	100	70	24
6	100	500	26
7	100	31	26
8	100	531	26
9	100	2	40
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
1187	504	533	16
1188	504	507	17
1189	507	533	7
000	{Indicador de fim do arquivo}		

5.1.2.2 - Arqfloyd.txt

Neste arquivo constam os 8646 tempos de percurso para os 132 nós combinados 2 a 2. Possui 8647 linhas. Os dois primeiros números de cada linha (com a exceção da última) representam, respectivamente, os nós (representados pelos seus índices) inicial e final. O terceiro número corresponde ao tempo gasto (em minutos) para percorrer os referidos nós. A sua montagem fica assim :

```
1 2 156
1 3 139
1 4 145
1 5 149
1 6 110
1 7 118
1 8 73
1 9 126
. . .
. . .
. . .
128 132 104
```

```
129 130 110
129 131 137
129 132 158
130 131 176
130 132 197
131 132 21
000 {Indicador de fim do arquivo}
```

5.1.2.3 - Hortos.txt

Este arquivo fornece o número de unidades amostrais para cada um dos 132 nós. Possui 137 linhas, assim distribuídas :

```
  Número
      Código
            Nome
                                 Unidades Amostrais

  1     1 Figueiras            0
  2     2 Barba Negra          180
  3     3 Bela Vista I         0
  4     4 Bela Vista II        6
  5     5 Bela Vista III       0
  6     6 Boa Vista            12
  7     7 Bom Retiro I         0
  8     8 Bressan              0
  9     9 Calderon             17
  .     .         .            .
  .     .         .            .
  .     .         .            .
130   554 Piquiri              0
131   555 Três Figueiras       0
132   556 Potreiro Grande      0
000   {Indicador de fim do arquivo}
```

5.1.3 - Arquivos tipo Binário (.Bin)

Foram criados os arquivos Arestas.bin, Hortos.bin, Matriz.bin e Pares.bin com a finalidade de facilitar o trabalho do computador. Eles não serão apresentados em virtude de estarem em linguagem de máquina.

5.1.4 - Programas em Pascal (.Pas)

Esses programas encontram-se no Anexo D.

5.1.4.1 - Clarke.pas

Esse programa estabelece as rotas de visitas. Ele atualiza o cadastro das unidades amostrais do inventário contínuo nos hortos florestais e fornece as rotas de acordo com a atualização feita. Nesse caso, não é informado o tempo total de trabalho e, sim, o tempo de trabalho diário para a realização do inventário florestal.

5.1.4.2 - Converte.pas

Transforma um arquivo do tipo texto em um arquivo binário.

5.1.4.3 - Floyd.pas

Esse programa lê as 1189 ligações diretas e, através delas, monta a matriz, de ordem 132 por 132, de custo mínimo para todos os nós. Possibilita, também, a entrada dos nós inicial e final para a obtenção do caminho e o custo mínimo para essa aresta.

5.1.4.4 - Ganhos.pas

Esse programa calcula as " economias " (ganhos) para cada par e cria uma lista, colocando essas arestas na ordem decrescente de seus ganhos.

5.1.4.5 - Simula.pas

Esse programa fornece todas as rotas e o tempo total para a sua realização. Para cada dia são informados os hortos visitados (através de seus códigos), o número de unidades amostrais efetuadas, as rotas utilizadas e o tempo gasto para a realização do trabalho diário.

5.2 - Roteiro para a Implementação

A solução para o problema de roteirização com restrições de tempos de viagens e de trabalho dentro do horto deverá obedecer o seguinte roteiro:

1º - Criar o arquivo Arestas.txt. (no nosso caso, já está criado). Porém toda vez que ocorrer alguma alteração nas estradas (asfaltamento, criação, abandono, etc.) deveremos fazer um novo arquivo.

2º - Criar o arquivo Hortos.txt.. Esse arquivo já está criado, mas será recriado a cada ano devido às alterações de inclusão ou exclusão nas unidades amostrais para a realização do inventário.

3º - Executar o programa Converte.pas.. Como esse programa tem por finalidade transformar os arquivos texto em binários, uma vez executados, só o serão novamente, se os arquivos texto tiverem sidos alterados.

4º - Executar o programa Floyd.pas.. A sua reexecução só será necessária se houver sido modificado o arquivo Aresta.txt..

5º - Executar o programa Ganhos.pas.. Uma vez executado e, não havendo acréscimo de novos hortos ou de novas estradas, não será preciso reexecutá-lo.

6º - Executar o programa :

- Simula.pas. se é de interesse que se tenha o inventário florestal no seu todo. Esse programa faz uma previsão da realização de todo o inventário florestal contínuo, fornecendo o número de dias, todas as rotas e o tempo total para a sua execução ou

- Clarke.pas. para a realização do

inventário diário. Esse programa permite a atualização do número de unidades amostrais que são feitas durante o dia de trabalho possibilitando com isso verificar se as equipes estão conseguindo realizar as medições e as viagens nos tempos estabelecidos.

5.3 - Uma Aplicação do Roteiro

Utilizando os arquivos Arestas.txt e Hortos.txt já criados e aplicando o programa Ganhos.pas para os 132 nós (de acordo com a escolha das condições, item 4.4) optou-se pela aplicação do programa Simula.pas. para a solução do problema de roteirização e os resultados podem ser vistos no Anexo E.

CAPÍTULO VI

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

6.1 - Conclusões

De acordo com os dados apresentados no Capítulo 2 e os resultados obtidos no item 4.1.4 podem-se tirar as seguintes conclusões:

6.1.1 - Quanto ao Tempo Utilizado em relação ao Número de Equipes

O tempo de viagens gasto por uma equipe para realizar o inventário florestal contínuo foi de 12448 minutos. De acordo com os dados fornecidos pela TM - Engenharia de Florestas o tempo de viagens representa 22% do tempo total; conseqüentemente, 44133 minutos representariam os 78% do tempo restante para os demais trabalhos, e o tempo total seria de 56581 minutos.

Os dados referentes ao problema são relativos ao ano de 1992. Como o inventário florestal contínuo é feito no período de setembro a dezembro, nesse ano, tivemos 21 dias de trabalho para o mês de setembro, 21 para o de outubro, 20 para o de novembro e 21 para o de dezembro, perfazendo um total de 83 dias que corresponderam a 39840 minutos.

Logo, as conclusões a que se chega são:

- ao utilizarmos somente uma equipe de trabalho, não conseguiremos realizar o inventário florestal no período estabelecido, pois faltariam 16741 minutos, que correspondem a 35 dias e, com isso, teríamos que utilizar os mês de janeiro e quase todo o de fevereiro;

-se utilizarmos duas equipes de trabalho, sobram 11549 dos 39840 minutos necessários para a realização do inventário, ocasionando a disponibilidade de 25 dias, correspondendo a todo mês de dezembro e quase uma semana do mês de novembro;

- ao utilizarmos três equipes de trabalho sobram

20979 minutos, o equivalente a 44 dias (novembro e dezembro), possibilitando a realização do inventário florestal em 39 dias, que correspondem ao mês de setembro e quase todo o mês de outubro.

6.1.2 - Quanto ao Número de Equipes por Carro

A distribuição de equipes para um mesmo carro acarreta as seguintes desvantagens:

- existem 25 hortos em que o número de unidades amostrais (AU) a serem realizadas não é divissível por 2, ou seja, o resto da divisão é 1. Se deslocarmos um carro com duas equipes para esses hortos, implica na falta de 1 UA de trabalho para uma equipe, ocasionando a esta equipe 20 minutos de espera, enquanto que o trabalho da outra é realizado normalmente. Como são 25 UA resultam 500 minutos de espera de uma equipe pela outra, ou seja, tempo consumido e não trabalhado, implicando num acréscimo de 2 dias de trabalho;

- para o caso de três equipes num mesmo carro, existem 21 hortos em que o resto da divisão do número de unidades amostrais por 3 resulta 2 e 15 hortos em que o resto da divisão é 1. Para os 21 hortos, significa que uma equipe deverá aguardar o trabalho das outras duas, sendo que para os 15 hortos, duas equipes aguardam o trabalho de uma. A espera de uma equipe para os 21 hortos implica em não usar o tempo de trabalho de 21 UA e das duas equipes para os 15 hortos é não usar o tempo de trabalho de 30 UA. O total de 51 UA representa 1020 minutos e corresponde ao tempo que as equipes não trabalham dentro do horto, ocasionando um acréscimo de 3 dias de serviço.

6.1.3 - Quanto ao Consumo de Combustível em relação ao Número de Equipes

Partindo da hipótese de que um carro gaste, em média, 1 litro de combustível para cada 10 minutos viajados resulta que:

- ao colocarmos uma equipe por carro, independente do número de equipes a serem utilizadas, o total de minutos rodados é de 12448 com um consumo em torno de 1245 litros;

- se utilizarmos duas equipes num mesmo carro, o consumo de combustível cai para 689 litros, resultando numa economia de 556 litros;

- se colocarmos três equipes num mesmo carro, o consumo de combustível fica em torno de 495 litros, ocasionando a economia de 750 litros, aproximadamente, em relação aos 1245 litros.

6.1.4 - Quanto à Distribuição das Equipes por Carro

A distribuição das equipes por carro não deve ser fixa. As equipes devem ser distribuídas de acordo com a disponibilidade de serviço dentro do horto. Se o trabalho no horto é suficiente para um dia, desloca-se uma equipe no carro. Se o trabalho for para dois dias, deslocam-se duas equipes num mesmo carro e, se for para três, deslocam-se três equipes num mesmo carro. Sempre procurando não deixar alguma equipe aguardando a conclusão do trabalho das outras.

6.1.5 - Quanto ao Algoritmo

O Algoritmo Modificado de Clarke-Wright produz igual ou melhor resultado se comparado com o Algoritmo de Clarke-Wright.

A Aplicação do Algoritmo Modificado de Clarke-Wright, tendo em vista obter um melhor resultado se comparado com o Algoritmo de Clarke-Wright, é recomendada nos seguintes casos:

- se isoladamente um ou mais nós não satisfazem as restrições de tempo, isto é, a soma dos tempos de viagens (Sede - nó - Sede) e de trabalho no nó é superior a jornada de trabalho da equipe.

- ao aplicarmos o Algoritmo de Clarke-Wright e constatarmos a existência de roteiros isolados.

6.2 - Sugestões para Trabalhos Futuros

De acordo com os dados apresentados no Capítulo 2 e as conclusões verificadas nos sub-itens do item 6.1, sugerimos:

6.2.1 - Criação de Roteiros Mínimos Dentro do Horto

Como as horas viajadas representam 22 % do tempo total, seria interessante criarmos roteiros mínimos também dentro do horto com a finalidade de minimizar o tempo total de trabalho. Para esses roteiros poderíamos pensar nas seguintes atividades :

- medição das unidades amostrais já que essa atividade corresponde a 35 % do tempo total de trabalho,
- deslocamento entre as unidades amostrais, e
- distribuição das equipes no horto.

6.2.2 - Distribuição das Equipes

Distribuir as equipes minimizando o número de carros e maximizando o trabalho dentro do horto.

6.2.3 - Trabalho Conjugado

A aplicação simultânea dos seguintes estudos:

- criação de um roteiro de mínimo custo fora do horto,
- criação de um roteiro de mínimo custo dentro do horto, e
- distribuição das equipes num número mínimo de carros.

6.2.4 - Estudo Econômico

Este estudo em princípio poderia ser feito na distribuição das equipes por carro em relação à economia de combustível combinada com a espera de equipes dentro do horto.

6.2.5 - Mudança da Sede Administrativa

Um estudo econômico mais completo poderia ser pensado ao mudarmos a Sede Administrativa. Nesse estudo, não só a minimização das trajetórias e, conseqüentemente, a economia de combustíveis, estariam sendo consideradas. Outras variáveis como, aquisição da nova Sede e despesas com os funcionários fariam parte do problema.

ANEXO A
LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Relação dos hortos de propriedade da RIOCELL S.A. com a sua respectiva área (ha) e distância à Sede (km)

Nº	Código	Nome	Município	Área	Distância
1	1	Figueiras	Pantano Grande	1289,63	130
2	2	Barba Negra	Barra do Ribeiro	10153,72	43
3	3	Bela Vista I	Tapes	61,85	70
4	4	Bela Vista II	Tapes	538,33	75
5	5	Bela Vista III	Tapes	173,40	80
6	6	Boa Vista	Guaíba	618,56	14
7	7	Bom Retiro I	Guaíba	354,82	20
8	8	Bressan	Butiá	75,42	77
9	9	Calderon	Tapes	245,41	54
10	10	Camélia	Tapes	1166,25	60
11	11	Cascata	Guaíba	211,28	4
12	12	Colorado	Butiá	2924,07	75
13	13	Pinheiros	Guaíba	1578,02	50
14	14	Conde	São Jerônimo	1413,60	75
15	15	Correa da Silva	Butiá	405,43	83
16	16	Cruz das Almas	Guaíba	152,70	36
17	17	Experimentação	Guaíba	99,57	10
18	18	Domagalski I	Guaíba	38,50	55
19	19	Douradilho I	Barra do Ribeiro	285,14	45
20	20	Feijó	Tapes	261,44	50
21	21	Santa Rita	Butiá	190,00	110
22	22	Rodeio Alto	Guaíba	1664,67	40
23	23	Gutierrez	Guaíba	50,70	35
24	24	Jerônimo	Eldorado do Sul	1078,37	49
25	25	João de Deus	Tapes	245,13	54
26	26	Jung	Triunfo	293,14	68
27	27	Lech	Barra do Ribeiro	451,31	36
28	29	Machado	Guaíba	31,07	20
29	30	Cambará	Butiá	1000,00	88
30	31	Padula	Barra do Ribeiro	215,28	31
31	32	Paulo Walter I	Guaíba	723,90	30
32	33	Paulo Walter II	Guaíba	196,33	30
33	34	Peixoto	Tapes	121,67	80
34	35	Petim	Guaíba	160,59	10
35	36	São Pedro I	São Jerônimo	100,59	55
36	37	Renner	Triunfo	617,98	66
37	38	São Pedro II	São Jerônimo	104,32	55
38	39	Rocha	Tapes	103,00	80
39	40	Minas do Leão	Butiá	264,00	90
40	41	Santa Tereza	Butiá	1160,29	77
41	42	Santo Amaro	General Câmara	1395,15	91
42	43	São Francisco	Eldorado do Sul	721,61	33
43	44	São Vicente	Butiá	939,75	85
44	45	Faxinal	Guaíba	363,76	65
45	46	Soares	Tapes	208,80	46
46	47	Souza	Tapes	65,05	51
47	48	Terra Dura	Eldorado do Sul	1965,08	38
48	49	Zelmanovitz	Eldorado do Sul	247,70	53
49	51	Passo da Estância	Barra do Ribeiro	309,52	35
50	52	Santa Rosa	Arroio dos Ratos	469,25	60
51	53	Cerro Vermelho	Butiá	292,52	112
52	54	Mathias	Guaíba	67,47	31
53	55	Mangueira I	Arroio dos Ratos	1620,98	77

Quadro 1 - Continuação da relação dos hortos de propriedade da Riocell S.A. com a sua respectiva área (ha) e distância à Sede (km)

54	56	São Martinho	Arroio dos Ratos	436,54	90
55	59	São Caetano	Arroio dos Ratos	104,45	85
56	60	Sertão	Guaíba	50,00	56
57	61	Barão do Triunfo	São Jerônimo	98,09	79
58	62	Mangueira II	Arroio dos Ratos	459,00	73
59	63	Quitéria	São Jerônimo	2399,53	126
60	64	Ramos	São Jerônimo	1927,93	122
61	65	Lajeado	São Jerônimo	180,00	134
62	66	Mangueira III	Arroio dos Ratos	157,20	77
63	67	Francisquinho	Butiá	966,81	102
64	68	Santana I	Guaíba	25,00	57
65	69	São Joaquim	Arroio dos Ratos	69,50	89
66	70	Chimarrita	Guaíba	144,20	24
67	71	Água Boa	Butiá	1000,32	105
68	72	Nogueira	Guaíba	104,53	19
69	73	Calombos	Arroio dos Ratos	421,70	49
70	74	Pirapó	Tapes	59,26	61
71	75	Querência do Badalo	Arroio dos Ratos	97,09	60
72	76	Mariana	Guaíba	240,30	55
73	77	São Roque	Butiá	3114,01	112
74	78	Araucária I	Butiá	566,30	119
75	79	Araucária II	Butiá	35,00	121
76	80	Minuano	Butiá	526,85	112
77	81	Azambuja I	Butiá	513,53	124
78	82	Azambuja II	Butiá	12,89	127
79	83	Ponte de Arame	Butiá	110,35	90
80	84	Capivarita	Rio Pardo	242,49	113
81	85	Ribeirão I	Pantano Grande	310,97	120
82	86	Ribeirão II	Pantano Grande	90,25	121
83	87	Bom Retiro II	Guaíba	44,70	24
84	88	Douradilho II	Barra do Ribeiro	157,00	46
85	89	Pillar	Butiá	360,00	95
86	90	Palmeira	Butiá	506,50	117
87	91	Monte Castelo	Pantano Grande	1724,11	125
88	92	Domagalski II	Guaíba	8,30	55
89	93	Umbu	Butiá	233,83	105
90	94	Taquara	Eldorado do Sul	89,92	25
91	95	Pitangueira	Eldorado do Sul	138,82	32
92	96	Ingá	Dom Feliciano	630,24	147

Fonte: TM - Engenharia de Florestas

Quadro 2 - Relação dos hortos arrendados ou em parceria com a sua respectiva área (ha) e distância à Sede (km)

Nº	Código	Nome	Município	Área	Distância
1	500	Campo Bom	Guaíba	153,10	26
2	501	Itaqui	Butiá	195,30	102
3	502	Sanga das Pedras I	Pantano Grande	220,09	121
4	503	Bom Princípio	Guaíba	132,29	7
5	504	Tabatingai	Pantano Grande	263,20	131
6	505	Leão I	Butiá	113,75	89
7	506	Leão II	Butiá	42,49	87
8	507	Sanga das Pedras II	Pantano Grande	19,91	124
9	508	Figueirinha	Pantano Grande	106,31	132
10	509	Condor	Butiá	314,60	90
11	510	Pedreira	Guaíba	89,30	35
12	511	Marmeleiro	Arroio dos Ratos	116,47	60
13	512	Angico	Arroio dos Ratos	249,14	65
14	513	Chandelia	Tapes	110,23	85
15	514	Santana II	Guaíba	21,00	57
16	515	Butiazeiro	Butiá	27,67	113
17	516	Aroeira	Eldorado do Sul	227,30	35
18	517	Alecrim	Guaíba	17,00	6
19	518	Cambuim	Arroio dos Ratos	75,10	66
20	519	Timbauva	Pantano Grande	162,75	108
21	520	Camboata	Camaquã	413,43	115
22	521	Ipê	Tapes	17,00	67
23	522	Tipuana	Arroio dos Ratos	179,73	67
24	523	Xaxim	Barra do Ribeiro	10,96	38
25	524	Sarandi I	Eldorado do Sul	6,30	34
26	525	Açoita Cavalo	Camaquã	159,72	106
27	526	Canjerana	São Jerônimo	34,20	70
28	528	Goiabeira	Camaquã	59,28	105
29	529	Grevilea	Guaíba	57,21	45
30	530	Sarandi II	Eldorado do Sul	19,55	37
31	531	Cedro	Barra do Ribeiro	193,87	45
32	532	Itapuã	Viamão	134,73	102
33	533	Pantano I	Pantano Grande	13,53	127
34	534	Pantano II	Pantano Grande	48,19	127
35	535	Canafístula	Rio Pardo	602,87	135
36	536	Capororoca	Viamão	80,56	92
37	537	Guajuvira I	Arroio dos Ratos	802,15	52
38	538	Guajuvira II	Arroio dos Ratos	1005,83	56
39	539	Canela	Butiá	198,12	73
40	540	Taquarí	General Câmara	55,03	90
41	541	Salso	Butiá	47,55	85
42	542	Cabana	Cerro Grande do Sul	122,20	97
43	543	Marfim	Guaíba	16,25	25
44	544	Cinco Estufas I	Cerro Grande do Sul	201,79	105
45	545	Coxilha Grande	Rio Pardo	1061,92	110
46	546	Dom Marcos	Encruzilhada do Sul	218,55	165
47	547	Cinco Estufas II	Cerro Grande do Sul	47,87	105
48	548	Santaninha	Encruzilhada do Sul	259,55	235
49	549	Espigão	Porto Alegre	62,05	85
50	550	Sander I	Dom Feliciano	105,10	160
51	551	Sander II	Dom Feliciano	54,78	160
52	552	Suthil	São Jerônimo	142,04	150
53	553	Cerro Partido	Encruzilhada do Sul	248,30	170

Quadro 2 - Continuação da relação dos hortos arrendados ou em parceria com a sua respectiva área (ha) e distância à Sede (km)

54	554	Piquiri	Cachoeira do Sul	250,60	200
55	555	Três Figueiras	Guaíba	33,19	40
56	556	Potreiro Grande	Barra do Ribeiro	39,05	100
57	557	Catanduva	Eldorado do Sul	130,00	45
58	558	Micheletto	Guaíba	134,50	30
59	559	Arroio dos Cachorros	São Jerônimo	250,00	85
60	560	Iruí	Encruzilhada do Sul	42,70	170
61	561	Glades	Camaquã	80,00	140
62	562	Cibils	Camaquã	116,00	100
63	563	Vertentes	Encruzilhada do Sul	460,47	150
64	564	Escudo	São Jerônimo	279,50	90
65	565	Erval I	Dom Feliciano	937,30	185
66	566	Erval II	Dom Feliciano	76,54	185
67	567	Vó Julica	Guaíba	350,24	30
68	568	Porto Batista	Canoas	200,00	80
69	569	Ipiranga	Encruzilhada do Sul	1000,00	205
70	570	Serra do Herval	São Jerônimo	110,06	95

Fonte: TM - Engenharia de Florestas

Quadro 3 - Agrupamento dos Hortos Inter-ligados

Código	Nome	Agrupamento
1	Figueiras	1 e 508
5	Bela Vista III	5 e 39
7	Bom Retiro I	7 e 87
18	Domagalski	18 e 92
19	Douradilho I	19 e 88
56	São Martinho	56 e 69
60	Sertão	60, 68 e 514
77	São Roque	77 e 515
81	Azambuja I	81 e 82
85	Ribeirão I	85 e 86
89	Pillar	89 e 509
481	Terra Dura	481 e 529
503	Bom Princípio	503 e 517
510	Pedreira	510 e 54
512	Angico	512 e 522
516	Aroeira	516 e 95
544	Cinco Estufas I	544 e 547

Quadro 4 - Relação dos Nós do problema com suas coordenadas em relação à Sede (km) e número de unidades amostrais respectivamente.

Nº	Código	Nome	Coordenadas	Pré-Corte	Contínuo
1	1	Figueiras	(57,3 ; 20,0)	5	0
2	2	Barba Negra	(-3,5 ; 18,3)	904	180
3	3	Bela Vista I	(11,9 ; 36,2)	0	0
4	4	Bela Vista II	(9,6 ; 37,0)	1	6
5	5	Bela Vista III	(8,0 ; 36,4)	0	0
6	6	Boa Vista	(7,9 ; -3,1)	147	12
7	7	Bom Retiro I	(9,7 ; 0,4)	114	0
8	8	Bressan	(41,2 ; -0,6)	0	0
9	9	Calderon	(13,0 ; 28,9)	0	17
10	10	Camélia	(11,8 ; 34,3)	154	43
11	11	Cascata	(0,8 ; 1,1)	135	0
12	12	Colorado	(37,1 ; -2,1)	561	88
13	13	Pinheiros	(15,7 ; 13,1)	67	20
14	14	Conde	(31,1 ; -7,6)	374	36
15	15	Correa da Silva	(44,8 ; 0,3)	8	29
16	16	Cruz das Almas	(14,9 ; 0,3)	47	2
17	17	Experimentação	(5,2 ; -2,1)	0	1
18	18	Domagalski I	(14,0 ; 22,4)	18	0
19	19	Douradilho I	(7,6 ; 23,9)	154	5
20	20	Feijó	(10,9 ; 28,2)	114	0
21	21	Santa Rita	(50,1 ; 7,9)	0	0
22	22	Rodeio Alto	(19,8 ; 10,9)	730	5
23	23	Gutierrez	(13,9 ; 7,9)	15	0
24	24	Jerônimo	(23,1 ; 0,5)	141	47
25	25	João de Deus	(9,8 ; 29,1)	0	19
26	26	Jung	(22,8 ;-16,4)	124	6
27	27	Lech	(5,0 ; 17,5)	226	0
28	29	Machado	(10,6 ; 3,7)	0	0
29	30	Cambará	(44,9 ; 4,9)	0	87
30	31	Padula	(6,5 ; 17,5)	108	0
31	32	Paulo Walter I	(14,7 ; 5,1)	36	0
32	33	Paulo Walter II	(14,3 ; 2,0)	52	0
33	34	Peixoto	(9,3 ; 35,6)	0	9
34	35	Petim	(2,8 ; 6,7)	0	0
35	36	São Pedro I	(25,7 ; -4,7)	0	0
36	37	Renner	(23,7 ;-15,3)	252	4
37	38	São Pedro II	(24,7 ; -6,2)	0	0
38	40	Minas do Leão	(48,3 ; 1,1)	16	0
39	41	Santa Tereza	(34,9 ; -7,5)	1	22
40	42	Santo Amaro	(35,0 ;-14,8)	64	14
41	43	São Francisco	(12,9 ; -6,7)	91	46
42	44	São Vicente	(46,0 ; 2,9)	160	6
43	45	Faxinal	(20,9 ; 11,9)	4	2
44	46	Soares	(11,7 ; 24,7)	0	15
45	47	Souza	(12,1 ; 29,3)	0	5
46	49	Zelmanovitz	(20,1 ; 3,1)	0	19
47	51	Passo da Estância	(7,1 ; 17,1)	63	14
48	52	Santa Rosa	(28,2 ; 4,4)	0	0
49	53	Cerro Vermelho	(52,2 ; 10,4)	0	0
50	55	Mangueira I	(30,5 ; 9,2)	109	62
51	56	São Martinho	(30,7 ; 15,4)	228	2
52	59	São Caetano	(29,4 ; 17,0)	50	0

Quadro 4 - Continuação da relação dos Nós do problema com suas coordenadas em relação à Sede (km) e número de unidades amostrais respectivamente

53	60	Sertão	(15,7 ; 22,4)	62	0
54	61	Barão do Triunfo	(29,3 ; 26,1)	25	0
55	62	Mangueira II	(28,3 ; 8,9)	144	3
56	63	Quitéria	(48,4 ; 27,8)	776	4
57	64	Ramos	(53,4 ; 25,6)	98	54
58	65	Lajeado	(49,2 ; 31,6)	73	0
59	66	Mangueira III	(29,5 ; 7,8)	48	0
60	67	Francisquinho	(52,8 ; -5,4)	344	0
61	70	Chimarrita	(9,3 ; 7,0)	0	11
62	71	Água Boa	(47,8 ; 13,2)	0	49
63	72	Nogueira	(9,5 ; 4,2)	0	8
64	73	Calombos	(24,7 ; -0,9)	0	30
65	74	Pirapó	(18,2 ; 27,4)	0	0
66	75	Querência do Badalo	(31,2 ; 0,8)	0	8
67	76	Mariana	(17,7 ; 15,1)	0	0
68	77	São Roque	(52,6 ; 15,3)	0	66
69	78	Araucária I	(47,1 ; 22,1)	0	38
70	79	Araucária II	(45,4 ; 23,1)	0	2
71	80	Minuano	(48,9 ; 17,8)	0	0
72	81	Azambuja I	(53,9 ; 22,2)	0	35
73	83	Ponte de Arame	(43,7 ; 7,6)	0	7
74	84	Capivarita	(55,9 ; 12,8)	0	19
75	85	Ribeirão I	(55,5 ; 17,1)	0	0
76	89	Pillar	(49,2 ; 4,8)	0	0
77	90	Palmeira	(49,7 ; 16,8)	0	0
78	91	Monte Castelo	(67,9 ; 11,5)	0	0
79	93	Umbu	(49,4 ; 12,7)	0	0
80	94	Taquara	(13,4 ; 1,5)	0	0
81	96	Ingá	(62,5 ; 22,0)	0	0
82	100	Sede Administrativa	(0,0 ; 0,0)	0	0
83	480	Terra Dura I	(19,6 ; -0,1)	74	7
84	481	Terra Dura II	(19,4 ; 5,1)	146	14
85	500	Campo Bom	(10,9 ; 7,4)	5	0
86	501	Itaquí	(46,2 ; 14,7)	0	15
87	502	Sanga das Pedras I	(67,3 ; 9,2)	0	17
88	503	Bom Princípio	(3,6 ; -0,1)	0	7
89	504	Tabatinga	(72,3 ; 12,2)	0	21
90	505	Leão I	(51,2 ; 2,2)	0	10
91	506	Leão II	(49,2 ; 2,6)	0	3
92	507	Sanga das Pedras II	(69,1 ; 9,4)	0	0
93	510	Pedreira	(16,5 ; 7,5)	22	0
94	511	Marmeleiro	(25,3 ; 4,6)	0	0
95	512	Angico	(25,4 ; 6,5)	0	0
96	513	Chandelia	(22,6 ; 38,5)	0	0
97	516	Aroeira	(16,4 ; 6,4)	0	0
98	518	Cambuim	(24,8 ; 8,1)	0	0
99	519	Timbaúva	(55,2 ; 8,6)	0	0
100	520	Camboata	(31,2 ; 41,3)	0	0
101	521	Ipê	(13,4 ; 36,2)	0	0
102	523	Xaxim	(3,1 ; 17,1)	0	0
103	524	Sarandi I	(15,0 ; -3,7)	0	0
104	525	Açoita Cavalo	(26,9 ; 41,4)	0	0
105	526	Canjerana	(36,2 ; -3,9)	0	0

Quadro 4 - Continuação da relação dos Nós do problema com suas coordenadas em relação à Sede (km) e número de unidades amostrais respectivamente

106	528	Goiabeira	(28,0 ; 49,9)	0	0
107	530	Sarandi II	(15,9 ; -2,2)	0	0
108	531	Cedro	(2,1 ; 15,1)	0	0
109	532	Itapuã	(-27,0 ; 10,4)	0	0
110	533	Pantano I	(66,3 ; 9,4)	0	0
111	534	Pantano II	(62,6 ; 9,1)	0	0
112	535	Canafístula	(59,0 ; 22,1)	0	0
113	536	Capororoca	(-23,5 ; 10,9)	0	0
114	537	Guajuvira I	(26,5 ; -3,9)	0	0
115	538	Guajuvira II	(25,3 ; 0,5)	0	0
116	539	Canela	(37,3 ; 3,5)	0	0
117	540	Taquari	(31,1 ;-17,4)	0	0
118	541	Salso	(40,3 ; 3,7)	0	0
119	542	Cabana	(30,9 ; 34,6)	0	0
120	543	Marfim	(12,1 ; 4,1)	0	0
121	544	Cinco Estufas I	(32,3 ; 29,0)	0	0
122	545	Coxilha Grande	(58,7 ; -5,2)	0	0
123	546	Dom Marcos	(76,7 ; 19,8)	0	0
124	548	Santaninha	(103,5 ; 45,9)	0	0
125	549	Espigão	(-17,7 ; 5,5)	0	0
126	550	Sander I	(53,0 ; 40,1)	0	0
127	551	Sander II	(52,3 ; 38,6)	0	0
128	552	Suthil	(43,9 ; 37,8)	0	0
129	553	Cerro Partido	(81,0 ; 19,6)	0	0
130	554	Piquiri	(107,7 ; 35,1)	0	0
131	555	Três Figueiras	(16,8 ; 10,4)	0	0
132	556	Proteiro Grande	(13,9 ; 18,8)	0	0

ANEXO B
LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distâncias, em km, utilizadas pela TM - Engenharia de Florestas, as calculadas pelo Algoritmo de Floyd e a Euclidiana

Nº	TM	Algoritmo de Floyd	Euclidiana
1	130	134,2	129,6
2	43	43	39,7
3	70	65,5	81,3
4	75	70	81,6
5	80	71,4	79,6
6	14	15,7	18,1
7	20	19,4	20,7
8	77	79	88
9	54	55,7	67,6
10	60	64	77,4
11	4	4	2,9
12	75	70,5	79,3
13	50	40,7	43,6
14	75	70,2	68,3
15	83	84,5	95,7
16	36	41,9	31,8
17	10	9,7	11,9
18	55	48,5	56,4
19	45	45	53,5
20	50	50	64,5
21	110	100,7	108
22	40	39,9	48,2
23	35	33,9	34,1
24	49	49,2	49,3
25	54	54,2	65,5
26	68	86,4	59,9
27	36	33,2	38,8
28	20	21,5	23,9
29	88	89	96,4
30	31	31	39,8
31	30	23,2	33,2
32	30	25,5	30,8
33	80	69,2	78,5
34	10	17	15,5
35	55	58	55,8
36	66	84,2	60,2
37	55	55,5	54,3
38	90	89	103
39	77	80,9	76,2
40	91	94,7	81,1
41	33	33	31
42	85	84,5	98,4
43	65	42,9	51,3
44	46	46	58,3
45	51	53,5	67,7
46	53	51,7	43,4
47	35	35	39,5
48	60	61	60,9
49	112	110,4	113,6
50	77	71,5	68
51	90	65,4	73,3
52	85	72,5	72,5

Tabela 1 - Continuação das distâncias, em km, utilizadas pela TM - Engenharia de Florestas, as calculadas pelo Algoritmo de Floyd e a Euclidiana.

53	56	50	58,4
54	79	77,5	83,8
55	73	72,1	63,3
56	126	155,7	138,8
57	122	139,6	126,5
58	134	115	124,9
59	77	76,1	65,1
60	102	104	113,3
61	24	22,5	24,8
62	105	107,5	105,9
63	19	19,5	22,1
64	49	49,5	52,7
65	61	57,2	70,2
66	60	62,2	66,6
67	55	40,7	49,6
68	112	118,6	117
69	119	127,7	111,1
70	121	109	108,8
71	112	129,6	111,1
72	124	132,1	124,5
73	90	95	94,7
74	113	117	122,5
75	120	125,2	124
76	95	96,2	105,5
77	117	77	86,4
78	125	125,2	147,1
79	105	110,5	108,9
80	25	28,5	28,8
81	147	148,7	141,5
82	S E D E	A D M I N I S T R A T I V A	
83	38	45,5	41,8
84	47	35,2	42,8
85	26	24,2	28,1
86	102	110,5	103,5
87	121	122,5	145
88	7	6	7,6
89	131	134,5	156,6
90	89	90,5	109,4
91	87	87,5	105,2
92	124	126,2	148,9
93	35	29,9	38,7
94	60	62,4	54,9
95	65	66,9	56
96	85	78,5	95,3
97	35	27,7	37,6
98	66	68,4	55,7
99	108	108	119,3
100	115	103,4	110,5
101	67	64	82,4
102	38	34,7	37,1
103	34	34	33
104	106	91,4	105,4
105	70	75,7	77,7

Tabela 1 - Continuação das distâncias, em km, utilizadas pela TM - Engenharia de Florestas, as calculadas pelo Algoritmo de Floyd e a Euclidiana

106	105	102,5	122,2
107	37	38,2	48,2
108	45	29,7	32,5
109	102	100	61,8
110	127	125,4	142,5
111	127	123,5	135,1
112	135	138,7	134,5
113	92	92	55,3
114	52	56	57,2
115	56	52,7	54
116	73	74	80
117	90	92,4	76,1
118	85	77	86,4
119	97	87,2	99
120	25	21	27,2
121	105	86,9	92,7
122	110	114,5	125,8
123	165	168,9	169,2
124	235	207,2	241,8
125	85	85	39,5
126	160	154,2	141,9
127	160	155,7	138,8
128	150	117,9	123,7
129	170	171,9	178
130	200	204,5	241,9
131	40	34,7	42,2
132	100	44	49,9

Tabela 2 - Resultados, em minutos, da aplicação do " Algoritmo Modificado de Clarke-Wright " e do " Algoritmo de Clarke-Wright "

		Início da lista				Percorrendo a lista	
Nº de Hortos	Nº de Pares	S/P S/V	C/P S/V	S/P C/V	C/P C/V	C/P	S/P
1	0	192	192	192	192	192	192
4	1	697	697	697	697	697	697
7	3	1639	1639	1639	1639	1639	1639
10	8	1904	1904	1904	1904	1904	1904
13	13	2293	2335	2293	2335	2335	2293
16	21	3484	3484	3484	3484	3608	3608
19	38	3873	3873	3926	3926	4026	4026
22	44	4633	4633	4633	4633	4840	4840
25	65	5285	5285	5285	5285	5277	5277
28	82	5496	5496	5496	5496	5693	5693
31	109	5834	5895	5834	5895	6439	6313
34	134	6221	6221	6221	6221	6678	6654
37	147	8107	8095	8107	8095	8431	8431
40	177	8604	8617	8604	8617	10023	10023
43	223	9936	9936	9935	9919	11069	11344
46	254	11006	11012	11045	11045	11878	12178
49	289	11735	11747	11780	11774	12539	12707
52	347	12562	12546	12562	12567	13356	13847

Tabela 3 - Resultados, em minutos, da aplicação do " Algoritmo Modificado de Clarke-Wright " utilizando todos os pares ordenados

		Início da lista				Percorrendo a lista	
Nº de Hortos	Nº de Pares	S/P S/V	C/P S/V	S/P C/V	C/P C/V	C/P	S/P
52	1326	12494	12467	12448	12454	13905	13884

ANEXO C

DADOS REFERENTES AOS HORTOS:

- DISTÂNCIA À SEDE
- CARACTERIZAÇÃO DA ESTRADA
- COEFICIENTE DE CORREÇÃO

Horto nº 124
Distância: 235,0 km
Caracterização: 22,5 % de estradas de terra
Coeficiente de correção: 2,0755814

Horto nº 130
Distância: 200,0 km
Redução: 14,8 % da distância anterior
Caracterização: 22,1 % de estradas de terra
Coeficiente de correção: 1,7656095

Hortos nºˢ 123 e 129
Distância média: 167,5 km
Redução: 16,2 % da distância anterior
Caracterização: 10,6 % de estradas de terra
Coeficiente de correção: 2,0614240

Hortos nºˢ 126 e 127
Distância média: 160,0 km
Redução: 4,4 % da distância anterior
Caracterização: 39,8 % de estradas de terra
Coeficiente de correção: 2,4344537

Hortos nºˢ 81 e 128
Distância média: 148,5 km
Redução: 7,1 % da distância anterior
Caracterização: 32,1 % de estradas de terra
Coeficiente de correção: 2,4039181

Hortos nºˢ 1 , 56 , 58 , 70 e 112
Distância média: 129,2 km
Redução: 12,9 % da distância anterior
Caracterização: 42,2 % de estradas de terra
Coeficiente de correção: 2,2418435

Hortos n^{os} 57 , 72 , 78 , 87 , 89 , 92 , 110 e 111
Distância média: 125,1 km
Redução: 3,1 % da distância anterior
Caracterização: 13,8 % de estradas de terra
Coeficiente de correção: 1,9073922

Horto n^{o} 75
Distância: 120,0 km
Redução: 4,0 % da distância anterior
Caracterização: 23,4 % de estradas de terra
Coeficiente de correção: 2,0663076

Hortos n^{os} 69 , 71 , 77 e 100
Distância média: 115,7 km
Redução: 3,5 % da distância anterior
Caracterização: 33,6 % de estradas de terra
Coeficiente de correção: 2,2228604

Hortos n^{os} 49 , 68 e 74
Distância média: 112,3 km
Redução: 2,9 % da distância anterior
Caracterização: 22,3 % de estradas de terra
Coeficiente de correção: 2,0397492

Horto n^{o} 21
Distância: 110,0 km
Redução: 2,0 % da distância anterior
Caracterização: 14,2 % de estradas de terra
Coeficiente de correção: 2,1688112

Horto n^{o} 122
Distância: 110,0 km
Caracterização: 17,1 % de estradas de terra
Coeficiente de correção: 1,8666254

Hortos n^{os} 60 , 62 , 79 , 86 , 99 e 106
Distância média: 104,5 km
Redução: 5,0 % da distância anterior
Caracterização: 17,8 % de estradas de terra
Coeficiente de correção: 1,9949798

Hortos n^{os} 104 , 109 e 121
Distância média: 104,3 km
Redução: 0,1 % da distância anterior
Caracterização: 53,7 % de estradas de terra
Coeficiente de correção: 2,6970539

Horto n^{o} 132
Distância: 100,0 km
Redução: 4,1 % da distância anterior
Caracterização: 34,1 % de estradas de terra
Coeficiente de correção: 4,2770599

Hortos n^{os} 76 e 119
Distância média: 96,0 km
Redução: 4,0 % da distância anterior
Caracterização: 24,5 % de estradas de terra
Coeficiente de correção: 2,0063841

Hortos n^{os} 40 e 113
Distância média: 91,5 km
Redução: 4,6 % da distância anterior
Caracterização: 63,9 % de estradas de terra
Coeficiente de correção: 2,9730828

Hortos n^{os} 38 e 73
Distância média: 90,0 km
Redução: 1,6 % da distância anterior
Caracterização: 13,1 % de estradas de terra
Coeficiente de correção: 1,9459556

Hortos n^{os} 51 e 117
Distância média: 90,0 km
Caracterização: 69,9 % de estradas de terra
Coeficiente de correção: 2,5729404

Hortos n^{os} 15 , 29 , 42 , 90 , 91 , 96 e 118
Distância média: 86,0 km
Redução: 4,4 % da distância anterior
Caracterização: 10,3 % de estradas de terra
Coeficiente de correção: 1,8788554

Hortos n^{os} 52 e 125
Distância média: 85,0 km
Redução: 1,1 % da distância anterior
Caracterização: 62,6 % de estradas de terra
Coeficiente de correção: 3,5444099

Hortos n^{os} 5 e 33
Distância média: 80,0 km
Redução: 5,8 % da distância anterior
Caracterização: 17,5 % de estradas de terra
Coeficiente de correção: 2,1603982

Hortos n^{os} 14 , 39 , 50 , 55 e 59
Distância média: 75,8 km
Redução: 5,2 % da distância anterior
Caracterização: 32,0 % de estradas de terra
Coeficiente de correção: 2,3801729

Hortos n^{os} 4 , 8 , 12 , 54 e 116
Distância média: 75,8 km
Caracterização: 23,1 % de estradas de terra
Coeficiente de correção: 1,9621949

Hortos n^{os} 3 e 105
Distância média: 70,0 km
Redução: 7,6 % da distância anterior
Caracterização: 16,5 % de estradas de terra
Coeficiente de correção: 1,8797842

Hortos n^{os} 26 , 36 , 43 , 95 e 98
Distância média: 66,0 km
Redução: 5,7 % da distância anterior
Caracterização: 48,4 % de estradas de terra
Coeficiente de correção: 2,4944801

Hortos n^{os} 65 e 101
Distância média: 64,0 km
Redução: 3,0 % da distância anterior
Caracterização: 21,7 % de estradas de terra
Coeficiente de correção: 1,7950913

Horto n^{o} 94
Distância: 60,0 km
Redução: 6,2 % da distância anterior
Caracterização: 23,9 % de estradas de terra
Coeficiente de correção: 2,3332883

Hortos n^{os} 10 , 48 e 66
Distância: 60,0 km
Caracterização: 12,4 % de estradas de terra
Coeficiente de correção: 1,8929308

Hortos n^{os} 37 , 46 , 67 e 115
Distância média: 54,7 km
Redução: 8,8 % da distância anterior
Caracterização: 31,8 % de estradas de terra
Coeficiente de correção: 2,3356778

Hortos n^{os} 9 , 18 , 25 , 35 , 45 , 53 e 114
Distância média: 53,8 km
Redução: 1,6 % da distância anterior
Caracterização: 19,6 % de estradas de terra
Coeficiente de correção: 1,8924814

Horto n^{o} 13
Distância: 50,0 km
Redução: 7,0 % da distância anterior
Caracterização: 75,5 % de estradas de terra
Coeficiente de correção: 2,4452874

Horto n^{o} 20
Distância: 50,0 km
Caracterização: 6,0 % de estradas de terra
Coeficiente de correção: 1,6538078

Hortos n^{os} 19 , 24 , 44 e 64
Distância média: 47,2 km
Redução: 5,6 % da distância anterior
Caracterização: 13,3 % de estradas de terra
Coeficiente de correção: 1,8951476

Hortos n^{os} 2 , 84 e 108
Distância média: 45,0 km
Redução: 4,6 % da distância anterior
Caracterização: 50,9 % de estradas de terra
Coeficiente de correção: 2,5342296

Hortos n^{o} 22 e 131
Distância média: 40,0 km
Redução: 11,1 % da distância anterior
Caracterização: 73,2 % de estradas de terra
Coeficiente de correção: 1,8970983

Hortos n^{o} 16 , 23 , 41 , 102 e 103
Distância média: 35,2 km
Redução: 12,0 % da distância anterior
Caracterização: 28,5 % de estradas de terra
Coeficiente de correção: 2,252446

Hortos n^{os} 27 , 30 , 47 , 83 , 93 , 97 e 107
Distância média: 35,2 km
Caracterização: 34,6 % de estradas de terra
Coeficiente de correção: 1,8606422

Hortos n^{os} 31 e 32
Distância média: 30,0 km
Redução: 14,7 % da distância anterior
Caracterização: 100% de estradas de terra
Coeficiente de correção: 2,0028773

Hortos n^{os} 61 , 80 , 85 e 120
Distância média: 25,0 km
Redução: 16,6 % da distância anterior
Caracterização: 79,3 % de estradas de terra
Coeficiente de correção: 1,9615675

Hortos n^{os} 7 e 28
Distância média: 20,0 km
Redução: 20,0 % da distância anterior
Caracterização: 78,0% de estradas de terra
Coeficiente de correção: 1,9207465

Hortos n^{os} 6 , 17 , 34 , 63 e 88
Distância média: 12,0 km
Redução: 40,0 % da distância anterior
Caracterização: 72,1 % de estradas de terra
Coeficiente de correção: 1,7165729

Horto nº 11

Distância: 4,0 km

Redução: 66,6 % da distância anterior

Caracterização: 100% de estradas de terra

Coeficiente de correção: 2,9408584

ANEXO D
A UNIDADE E OS PROGRAMAS EM PASCAL

1 - Unidade (Unit)

```
Unit Base;

Interface

Const
  nMaxVertices =135;       {Número máximo de vértices permitido}

  nMaxArestas  =1190;      {Número máximo de arestas permitido}

  HortoSede    = 82;

Type
   TP_Horto = record
                Num,
                Cod,
                Unidades : Word;
                Nome     : String[15];
              end;

   Tp_Aresta = record
                 Num,
                 Hi,Hf,
                 Tempo  : Word;
               end;

   TP_matriz = array[1..nmaxVertices,1..nmaxVertices] of Word ;
   TP_vetor  = array[1..nmaxVertices] of Word;

   Tp_Arq1   = File of TP_Horto;
   Tp_Arq2   = File of Tp_Aresta;
   Tp_Arq3   = File of Tp_Matriz;

Var
   ArqHortos   : Tp_Arq1;
   ArqArestas  : Tp_Arq2;
   ArqMatriz   : Tp_Arq3;
   VH          : Tp_Vetor;
   Horto       : Tp_Horto;
   Aresta      : Tp_Aresta;
   Teta,Custo  : ^Tp_Matriz;
   NumHortos,
   NumArestas  : Word;

Function codigoIndice(c:integer):byte;
Procedure CriaVetores;

Implementation
var
  i : word;

Function codigoIndice(c:integer):byte;
var
   i  : byte;
begin
   i:=0;
```

```
   repeat
      inc(i)
   until (vh[i]=c) or (i=NumHortos+1);
   codigoIndice:=i;
end;

Procedure CriaVetores;
var
   i    : byte;
begin
   reset(ArqHortos);
   NumHortos := FileSize(ArqHortos);
   for i:=1 to NumHortos do
      begin
         read(ArqHortos, horto);
         vh[i]:=horto.cod;
      end;
   close(ArqHortos);
end;

Begin
  NumHortos := 0;
  NumArestas:= 0;
  For  i:=1 to nMaxVertices do
     VH[i] :=0;
  Assign(ArqHortos, ´Hortos.Bin ´);
  Assign(ArqArestas,´Arestas.Bin´);
  Assign(ArqMatriz, ´Matriz.Bin ´);
end.
```

2 - Clarke.pas

```
Program ClarkeModificado;

Uses Base,Crt;

Type
   Tp_Par_Pt = ^Tp_Par;
   Tp_Par = Record
               H1,H2,G     : Word;
               Prox,Antes : Tp_Par_Pt;
            end;

   Ob_Lista = Object
                 Num  : Word;
                 Topo : Tp_Par_Pt;
                 Procedure Iniciar;
                 Procedure Montar;
                 Procedure Imprimir;
                 Procedure Retirar(p:Tp_Par_Pt);
                 Function  Primeiro: Tp_Par_Pt;
                 Function  PrimeiroHorto(p:Tp_Par_Pt):Word;
                 Function  ProximoPar(H:Word):Tp_Par_Pt;
              end;

   VertPt   = ^Vertice;
   Vertice  = Record
                Horto  : Word;
                Prox,Antes  : VertPt;
              end;

   Ob_Rota = Object
               Num,
               TempoConsumido  : Word;
               Unid : Array[1..nMaxVertices] of Byte;
               Topo      : VertPt;
               Procedure Iniciar;
               Procedure Limpar;
               Procedure DoDia;   {Construir a rota do dia}
               Procedure Colocar(H:Word);
               Procedure Mostrar;
             end;

   Tp_Terno = Record
                V1,V2,Ganho:Word;
              end;

Var
   Lista     : Ob_Lista;
   Rota      : Ob_Rota;
   HortoUnid,HortoUnid2  : Array[ 1..nMaxVertices] of Word;
   i,ContaDia,
   ContaTempo : Word;
   cam : TP_vetor;
   ArqPares : File of Tp_Terno;
   FimDaLista: Boolean;
```

```
Procedure Ob_Lista.Iniciar;
begin
   New(Topo);
   Topo^.h1:=0;
   Topo^.h2:=0;
   Topo^.G := 65000;
   Topo^.Prox:=Topo;
   Topo^.Antes:=Topo;
end;

Procedure Ob_Lista.Montar;
var
   Aux   : Tp_Par_Pt;
   Terno: Tp_Terno;
begin
   Num:=0;
   Assign(ArqPares,´Pares.Bin´);
   Reset(ArqPares);
   While Not(Eof(ArqPares)) do begin
      Read(ArqPares,Terno);
      Inc(Num);
      New(Aux);
      Aux^.H1:=Terno.V1;
      Aux^.H2:=Terno.V2;
      Aux^.G :=Terno.Ganho;
      Topo^.Antes^.Prox:=Aux;
      Aux^.Antes := Topo^.Antes;
      Aux^.Prox  := Topo;
      Topo^.Antes:= Aux;
   end;
   Close(ArqPares);
end;

Procedure Ob_Lista.Imprimir;
Var
  Aux : Tp_Par_Pt;
  Cont: Word;
begin
   cont:=1;
   Aux:= Topo^.Prox;
   Writeln;
   Repeat
     With Aux^ do
        Writeln(Cont:4,H1:4,H2:4,G:4);
     Inc(Cont);
     Aux:= Aux^.Prox;
   Until Aux=Topo
end;

Procedure Ob_Lista.Retirar;
Var
  Pt : Tp_Par_Pt;
begin
   if P=Topo then begin
      Writeln(´ A cabeca da lista esta sendo retirada.´,Num);
      Readln;
   end;
```

```
    P^.Antes^.Prox:=P^.Prox;
    P^.Prox^.Antes:=P^.Antes;
    Dispose(P);
    Dec(Num);
 end;

 Function Ob_Lista.Primeiro;
 Var
   Aux : Tp_Par_Pt;
   Achou : Boolean;
 begin
   Achou :=False;
   Aux:= Topo;
   Repeat
      Aux:=Aux^.Prox;
      if (HortoUnid[Aux^.H1]>0) then
        Achou:=True
      else
         if (HortoUnid[Aux^.H2]>0) then
            Achou:=True
         else
            if Aux<>Topo then
               Retirar(Aux);
   Until Achou or (Aux=Topo);
   if Aux=Topo then
      Primeiro:=Nil
   else
      Primeiro:=Aux;
 end;

 Function Ob_Lista.PrimeiroHorto;
 Var
   Aux : Tp_Par_Pt;
   Achou: Boolean;
 begin
   Achou:=False;
   If HortoUnid[P^.H1]=0 then
      PrimeiroHorto:=P^.H2
   else
      if HortoUnid[P^.H2]=0 then
         PrimeiroHorto:=P^.H1
      else begin
         Aux:=P;
         Repeat
            Aux:=Aux^.Prox;
            if (P^.H1=Aux^.H1) or (P^.H1=Aux^.H2) then begin
               Achou:=True;
               PrimeiroHorto:=P^.H2;
            end
            else
               if (P^.H2=Aux^.H1) or (P^.H2=Aux^.H2) then begin
                  Achou:=True;
                  PrimeiroHorto:=P^.H1;
               end;
         Until Achou or (Aux=Topo);
         if Aux=Topo then begin
            write(#7);
```

```
            PrimeiroHorto:=0;
         end;
      end;
  end;

  Function Ob_Lista.ProximoPar;
  Var
    Aux : Tp_Par_Pt;
    Sair : Boolean;
    Horto2:Word;
  begin
    Sair:= False;
    Aux:=Topo;
    Repeat
       Aux:= Aux^.Prox;
       If Aux^.H1=H then begin
          If HortoUnid[Aux^.H2]>0 then
             Sair:= True
          end
       else
          If Aux^.H2=H then
             If HortoUnid[Aux^.H1]>0 then
                Sair:= True;
          if (Aux^.H1=0) and (Aux^.H2=0) and (Aux<>Topo) then
             Retirar(Aux);
    Until Sair or (Aux=Topo);
    If Aux=Topo then
       ProximoPar:=Nil
    else
       ProximoPar:=Aux;
  end;

  {****************************************************************}

  Procedure Ob_Rota.Iniciar;
  begin
     New(Topo);
     Topo^.Prox :=Topo;
     Topo^.Antes:=Topo;
     Topo^.Horto:=HortoSede;
     Num:=0;
     TempoConsumido:=0;
  end;

  Procedure Ob_Rota.Limpar;
  Var
     Aux: VertPt;
  begin
     Num:=0;
     TempoConsumido:=0;
     While Topo^.Prox<>Topo do begin
        Aux:=Topo^.Prox;
        Aux^.Antes^.Prox:=Aux^.Prox;
        Aux^.Prox^.Antes:=Aux^.Antes;
        Dispose(Aux);
     end;
  end;
```

```
Procedure Ob_Rota.Colocar;
Var
   Aux : VertPt;
   TempoViagem,TempoTrabalho,
   TempoRetorno,
   UnidTrabalho  : Word;
begin
   Inc(Num);
   New(Aux);
   Aux^.Horto:=H;
   Topo^.Antes^.Prox:=Aux;
   Aux^.Antes  := Topo^.Antes;
   Aux^.Prox   := Topo;
   Topo^.Antes := Aux;
   TempoViagem := Custo^[H,Aux^.Antes^.Horto];
   TempoRetorno:= Custo^[H,HortoSede];
   TempoTrabalho:=480 - (TempoConsumido+TempoViagem+TempoRetorno);
   if TempoTrabalho>=HortoUnid[H]*20 then
      UnidTrabalho:= HortoUnid[H]
   else
      UnidTrabalho:= Trunc(TempoTrabalho/20);
   HortoUnid[Aux^.Horto]:= HortoUnid[Aux^.Horto]-UnidTrabalho;
   TempoConsumido:=TempoConsumido + TempoViagem + 20*UnidTrabalho;
   Unid[H]:= UnidTrabalho;
end;

Function PodeIncluir(h:word):Boolean;
Var
   TempoViagem,
   TempoRetorno: Word;
   Dif         : Integer;
begin
   TempoViagem:= Custo^[Rota.Topo^.Antes^.Horto,H];
   TempoRetorno:= Custo^[H,HortoSede];
   Dif := (480 - (Rota.TempoConsumido+TempoViagem+TempoRetorno));
   PodeIncluir:=  (Dif >= 20) ;
end;

Procedure Ob_Rota.DoDia;
Var
   Prim_Par : Tp_Par_Pt;
   TempoTrabalhado,
   HortoI,HortoF    : Word;
   Fecha_o_Dia      : Boolean;

         Function Fechou:Boolean;
         begin
            if PodeIncluir(HortoI) then begin
               Colocar(HortoI);
               Fechou:= Not(HortoUnid[HortoI]=0);
            end
            else
               Fechou:=True;
         end;
begin
   If ContaDia=49 then
```

```
      Write('');
    TempoConsumido:=0;
    Prim_Par := Lista.Primeiro;
    if Prim_Par=Nil then
        begin
           FimDaLista:=True;
           Exit;
        end
    else begin
       HortoI:= Lista.PrimeiroHorto(Prim_Par);
       Colocar(HortoI);
       Fecha_o_Dia:= Not(HortoUnid[HortoI]=0);
       While  (Not Fecha_o_Dia) do begin
          HortoF:=HortoI;
          if Prim_Par^.H1=HortoI then
             HortoI:=Prim_Par^.H2
          else
             HortoI:=Prim_Par^.H1;
          if HortoUnid[HortoI]<>0 then
             Fecha_o_Dia:=Fechou
          else begin
             Lista.Retirar(Prim_Par);
             Prim_Par:=Lista.ProximoPar(HortoF);
             if Prim_Par=Nil then
                Exit
             else begin
                HortoI:=Lista.PrimeiroHorto(Prim_Par);
                Fecha_o_Dia:=Fechou;
             end
          end
       end
    end
end;

Procedure Caminho(Vi,Vf:Word);
var
   resp    : char;
   t,k ,p  : Word;
begin
   for k:=1 to NumHortos do
     cam[k]:=0;
   cam[1] := Vi ;
   cam[NumHortos]:= Vf;
   p:=teta^[Vi,Vf];
   if cam[1]<>p then
     begin
       t:=NumHortos;
       repeat
          k:=t-1;
          cam[k]:=p;
          p:=teta^[cam[1],cam[k]];
          t:=t-1;
       until p=cam[1];
     end;
end;

Procedure Ob_Rota.Mostrar;
```

```
Var
   Aux : VertPt;
   Vi,Vf,k,Tempo : Word;
begin
   Writeln;
   Writeln(´ Dia: ´,ContaDia);
   Aux:=Topo^.Prox;
   Repeat
      VI:= Aux^.Horto;
      Writeln(´ Horto:´,Vh[VI]:4,´   Unidades:´,Unid[VI]:4);
      Aux:=Aux^.Prox;
   Until Aux=Topo;
   Vi:= HortoSede;
   Aux:=Topo^.Prox;
   Write(´ Rota: (´,Vh[Vi],´)-´);
   Repeat
      Vf :=Aux^.Horto;
      Caminho(Vi,Vf);
      For k:=2 to NumHortos-1 do
         if Cam[k]<>0 then
            Write(Vh[Cam[k]],´-´);
      Vi:=Vf;
      Aux:=Aux^.Prox;
      Write(´[´,Vh[Cam[NumHortos]],´]-´);
   until Aux=Topo;
      Vf := Aux^.Horto;
      Caminho(Vi,Vf);
      For K:=2 to NumHortos-1 do
         if Cam[k]<>0 then
            Write(Vh[Cam[k]],´-´);
       Write(´(´,Vh[Cam[NumHortos]],´)´);
   Writeln;
   Tempo := TempoConsumido+Custo^[Vi,HortoSede];
   Writeln(´ Tempo Utilizado: ´,Tempo);
   ContaTempo:= ContaTempo + Tempo;
end;

{&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&}

Procedure MontaVetor;
Var
  i: word;
begin
   Reset(ArqHortos);
   NumHortos:= FileSize(ArqHortos);
   For i:=1 to NumHortos do begin
      Read(ArqHortos,Horto);
      HortoUnid[i]:=Horto.Unidades;
   end;
   HortoUnid2:= HortoUnid;
   Close(ArqHortos);
end;

Procedure Atualizar;
Var
   H,U : Word;
Function LeHorto:Word;
```

```
begin
   Repeat
      Gotoxy(13,8);Write ('          ');
      Gotoxy(13,8);
      Read(H);
      if H<>0 then begin
         H:= CodigoIndice(H);
         Gotoxy(10,18);
         Write('                            ');
         if H=NumHortos+1 then begin
            Gotoxy(10,18);
            Write(#7,' Este horto nao existe.');
         end;
      end;
   Until (H<>NumHortos+1);
   LeHorto:=H;
end;

begin
   ClrScr;
   Writeln;
   Writeln('   Atualizacao das unidades amostrais dos hortos');
   Writeln('   florestais.');
   Gotoxy(4,24);
   Write('Digite "Horto = 0" para finalizar.');
   Window(1,4,79,23);
   Gotoxy(4,8); Write('Horto : ');
   H:= LeHorto;
   Reset(ArqHortos);
   While H<>0 do begin
      Gotoxy(30,8); Write('Valor atual: ');
      Seek(ArqHortos,H-1);
      Read(ArqHortos,Horto);
      Write(Horto.Unidades);
      Gotoxy(30,9); Write('Novo valor : ');
      Read(Horto.Unidades);
      Seek(ArqHortos,H-1);
      Write(ArqHortos,Horto);
      HortoUnid[H]:=Horto.Unidades;
      ClrScr;
      Gotoxy(4,8); Write('Horto : ');
      H:= LeHorto;
   end;
   Close(ArqHortos);
   Window(1,1,80,25);
end;

Procedure RotaAtual
begin
   ClrScr;
   Writeln;
   Writeln('   Rota a ser realizada no proximo dia.');
   Writeln;
   ContaDia:=1;
   Rota.Limpar;
   Rota.DoDia;
   Rota.Mostrar;
```

```
    Gotoxy(10,25);Write('Pressione ENTER para continuar');
    Readln;
end;

Procedure RotasFuturas;
begin
   ContaDia:=0;
   Lista.Iniciar;
   Lista.Montar;
   FimDaLista:= False;
   ClrScr;
   Gotoxy(10,25);Write('Pressione ENTER para continuar');
   Window(1,1,80,23);
   Repeat
      Inc(ContaDia);
      Rota.Limpar;
      Rota.DoDia;
      if Not FimDaLista then
         Rota.Mostrar;
      if (ContaDia mod 3)=0 then begin
         Readln;
      end;
   Until FimDaLista;
   Writeln('      . . . FIM . . .');
   Readln;
   Window(1,1,80,25);
end;

Procedure Menu;
Var
   Ch: Char;
begin
   Repeat
      ClrScr;
      Writeln;
      Writeln('  Programa para estabelecer as rotas de visitas.');
      Gotoxy(10,10);
      Write('<1> - Atualizar cadastro');
      Gotoxy(10,13);
      Write('<2> - Rotas futuras');
      Gotoxy(10,16);
      Write('<3> - Sair.');
      Gotoxy(10,24);
      Write('Escolha sua apcao: ');
      Rota.Iniciar;
      ContaDia:=0;
      HortoUnid:=HortoUnid2;
      ContaTempo:=0
      Repeat
         Ch:= Readkey;
      Until (ch In ['1','2','3','4']);
      Case ch of
         '1': Atualizar;
         '2': RotasFuturas;
      end;
   Until Ch='3';
   ClrScr;
```

```
end;

Begin
   Reset(ArqMatriz);
   New(Custo);
   New(Teta );
   Read(ArqMatriz,Custo^);
   Read(ArqMatriz,Teta^ );
   Close(ArqMatriz);
   CriaVetores;
   MontaVetor;
   Menu;
   Dispose(Custo);
   Dispose(Teta);
end.
```

3 - Converte.pas

```
Program Converte;

Uses Base;

Var
  Texto : Text;
  ch    : char;

begin
   writeln;
   writeln(´ Convertendo arquivo texto em arquivo binario...´);
   Assign(Texto,´Hortos.txt´);
   writeln(´ Arquivo Hortos.txt  ==>  Hortos.Bin´);
   Reset(Texto);
   Rewrite(ArqHortos);
   Readln(Texto);
   Readln(Texto);
   Readln(Texto);
   Readln(Texto);
   Read(Texto,Horto.Num);
   While (Horto.Num<>0) do begin
      with Horto do begin
         Readln(Texto,Cod,ch,Nome,Unidades);
         write(ArqHortos,Horto);
      end;
      Read(Texto,Horto.Num);
   end;
   Close(Texto);
   Close(ArqHortos);
   CriaVetores;
   Assign(Texto,´Arestas.txt´);
   Writeln(´ Arquivo Arestas.txt ==> Arestas.Bin´);
   Reset(Texto);
   Rewrite(ArqArestas);
   Readln(Texto);
   Readln(Texto);
   Readln(Texto);
   Readln(Texto);
   Read(Texto,Aresta.Num);
   While (Aresta.Num<>0) do begin
      with Aresta do begin
         Readln(Texto,Hi,Hf,Tempo);
         Aresta.hi:= CodigoIndice(Aresta.hi);
         Aresta.hf:= CodigoIndice(Aresta.hf);
         write(ArqArestas,Aresta);
      end;
      Read(Texto,Aresta.Num);
   end;
   Close(Texto);
   Close(ArqArestas);
   writeln(´ Processo terminado.´);
end.
```

4 - Floyd.pas

```
Program Floyd;

uses crt,Base;
var
   aux                    : ^TP_matriz;
   i,j,k,p                 : Word;

          {---------------------------------------------}

procedure LeiaDados;
var
  i,j,k: Word;

begin
  CriaVetores;
  ClrScr;
  writeln('                 ALGORITMO   DE   FLOYD ');
  writeln('                 Lendo as arestas');
  For I:=1 to NumHortos do
     For j:=i to NumHortos do
        begin
           Custo^[i,j]:= 65000;
           Custo^[j,i]:= 65000;
        end;
  For i:=1 to NumHortos do
     Custo^[i,i]:=0;
  Reset(ArqArestas);
  NumArestas := FileSize(ArqArestas);
  For k:=1 to NumArestas do
      begin
        Read(ArqArestas,Aresta);
        i:= Aresta.hi;
        j:= Aresta.Hf;
        Custo^[i,j]:= Aresta.Tempo;
        Custo^[j,i]:= Custo^[i,j];
        gotoxy(6,3);write(k);
      end;
   close ( ArqArestas );
end;

          {---------------------------------------------}

procedure matrizteta;

begin
   for i:=1 to NumHortos do
     for j:=1 to NumHortos do
          teta^[i,j]:=i;
end;

          {---------------------------------------------}

procedure calcula;

begin
```

```
  writeln;
  writeln;
  writeln ('          Montando a matriz de Floyd.')
  k:=1
  repeat
    for j:=1 to NumHortos do
      if j<>k then
        for i:=1 to NumHortos do
          if i<>k then
             begin
                aux^[i,j]:= Custo^[i,k] + Custo^[k,j];
                if aux^[i,j] < Custo^[i,j] then
                   begin
                     Custo^[i,j]:=aux^[i,j];
                     teta^[i,j]:=teta^[k,j];
                   end;
             end;
    k:=k+1;
    Gotoxy(3.10);
    writeln( '         Porcentagem: ', 100*(k/(NumHortos+1)):4:2);
  until k = NumHortos+1;
end;

          {---------------------------------------}

procedure caminho;

var
   cam     : TP_vetor;
   resp    : char;
   t       : byte;

begin
   clrscr;
   writeln('Podemos agora, determinar os custos e os caminhos ');
   writeln(' minimos de um vertice inicial  vi  a um vertice  ');
   writeln('  final  vf.                                      ');
   writeln;
   writeln('Vertice  "0" (zero) significa  "nil"');
   writeln;
     repeat
       for k:=1 to NumHortos do
         cam[k]:=0;
       writeln('entre com os vertices inicial e final');
       writeln;
       write('vi =');  readln(cam[1]);
       write('vf =');  readln(cam[NumHortos]);
       p:=teta^[cam[1],cam[NumHortos]];
       if cam[1]=p then
          writeln('o caminho e :', cam[1],'=>',cam[NumHortos]);
       else
         begin
           t:=NumHortos;
           repeat
              k:=t-1;
              cam[k]:=p;
              p:=teta^[cam[1],cam[k]];
```

```
            t:=t-1;
         until p=cam[1];
         writeln('o vetor caminho e:');
         for k:=1 to NumHortos do
           If Cam[k]<>0 then
              begin
                write(cam[k]);
                if k<>NumHortos then
                  write('=>');
              end;
       end;
     writeln;
     writeln('custo do caminho  vale: ',
                                  Custo^[cam[1],cam[NumHortos]]);
     writeln;
     write('digite  s  para continuar:  ');
     readln(resp);
     writeln; writeln;
   until resp <> 's';
end;

         {*******       PROGRAMA PRINCIPAL       *******}

begin
  New(custo);
  New(Aux);
  New(Teta);
  clrscr;
  leiadados;
  matrizteta;
  calcula;
  caminho;
  ReWrite(ArqMatriz);
  Write(ArqMatriz,Custo^);
  Write(ArqMatriz,Teta^);
  Close(ArqMatriz);
  Dispose(custo);
  Dispose(Aux);
  Dispode(Teta);
end.
```

5 - Ganhos.pas

```
Program Economias;

Uses Base,Crt;

Type
   Tp_Par_Pt = ^Tp_Par;
   Tp_Par = Record
               H1,H2,G : Word;
               Prox    : Tp_Par_Pt;
            end;

   Ob_Lista = Object
                 Topo : Tp_Par_Pt;
                 Procedure Iniciar;
                 Procedure Ordenar(par:Tp_Par_Pt);
                 Procedure Imprimir;
              end;

   Tp_Elemento = Record
                    A1,A2,G2 : Word;
                 end;

Var
   Lista      : Ob_Lista;
   HortoUnid  : Array[ 1..nMaxVertices] of Word;
   I    : Word;
   cam  : TP_vetor;
   ArqPares : File of Tp_Elemento;

Procedure Ob_Lista.Iniciar;
begin
   New(Topo);
   Topo^.G := 65000;
   Topo^.Prox:=Topo;
end;

Function Ganho(H1,H2:Word):Word;
begin
   Ganho:=Custo^[HortoSede,H1]+Custo^[HortoSede,H2]-Custo^[H1,H2];
end;

Procedure Ob_Lista.Ordenar;
Var
  PtAux,PtAntes : Tp_Par_Pt;
begin
   PtAux:=Topo;
   Repeat
      PtAntes:= PtAux;
      PtAux   := PtAux^.Prox;
   Until (PtAux^.G < Par^.G) or (PtAux=Topo)
   Par^.Prox    := PtAux;
   PtAntes^.Prox:= Par;
end;

Procedure Ob_Lista.Imprimir;
```

```
var
  Aux,Aux2 : Tp_Par_Pt;
  Elem: Tp_Elemento;
  Cont: Word;
begin
  Cont:=0;
  Assign(ArqPares,'Pares.Bin');
  Rewrite(ArqPares);
  Aux:= Topo^.Prox;
  Repeat
    Elem.A1:=Aux^.H1;
    Elem.A2:=Aux^.H2;
    Elem.G2:=Aux^.G;
    Write(ArqPares,Elem);
    Inc(Cont);
    Writeln(Cont:5,Elem.A1:4,Elem.A2:4,Elem.G2:4);
    Aux2:=Aux;
    Aux:=Aux^.Prox;
    Dispose(Aux2);
  Until (Aux=Topo);
  Close(ArqPares);
end;

Procedure MontaVetor;
Var
  i: word;
begin
   Reset(ArqHortos);
   NumHortos:= FileSize(ArqHortos);
   For i:=1 to NumHortos do begin
      Read(ArqHortos,Horto);
      HortoUnid[i]:=Horto.Unidades;
   end;
   Close(ArqHortos);
end;

Procedure caminho(Vi,Vf:Word);
var
   resp    : char;
   t,k ,p  : Word;
begin
   for k:=1 to NumHortos do
     cam[k]:=0;
   cam[1] := Vi  ;
   cam[NumHortos]:= Vf;
   p:=teta^[Vi,Vf];
   if cam[1]<>p then
     begin
       t:=NumHortos;
       repeat
          k:=t-1;
          cam[k]:=p;
          p:=teta^[cam[1],cam[k]];
          t:=t-1;
       until p=cam[1];
     end;
end;
```

```
Function SaoLigados(i,j:Word): Boolean;
Var
 k: Word;
begin
   SaoLigados:= True;
   Caminho(i,j);
   For k:=2 to NumHortos-1 do
      If Cam[k]<>0 then
         if HortoUnid[Cam[k]]>0 then begin
            SaoLigados:= False;
            Exit;
         end
end;

Procedure CriarLista;
Var
  Par : Tp_Par_Pt;
  Cont,i,j : Word;
begin
   Cont:=0;
   Reset(ArqArestas);
   NumArestas:= FileSize(ArqArestas);
   For i:=1 to NumHortos do
       For j:= i+1 to NumHortos do
          if (HortoUnid[i]>0) and (HortoUnid[j]>0) then
             begin
                New(Par);
                Par^.H1:=i;
                Par^.H2:=j;
                Par^.Prox:=Par;
                Par^.G:= Ganho(i,j);
                Lista.Ordenar(Par);
                Inc(Cont);
             end;
   Close(ArqArestas);
end;

begin
   Reset(ArqMatriz);
   New(Custo);
   New(Teta);
   Read(ArqMatriz,Custo^);
   Read(ArqMatriz,Teta^);
   Close(ArqMatriz);
   MontaVetor;
   Lista.Iniciar;
   CriarLista;
   Lista.Imprimir;
end.
```

6 - Simula.pas

```
Program ClarkeModificado;

Uses Base,Crt;

Type
   Tp_Par_Pt = ^Tp_Par;
   Tp_Par = Record
               H1,H2,G    : Word;
               Prox,Antes : Tp_Par_Pt;
            end;

   Ob_Lista = Object
                 Num  : Word;
                 Topo : Tp_Par_Pt;
                 Procedure Iniciar;
                 Procedure Montar;
                 Procedure Imprimir;
                 Procedure Retirar(p:Tp_Par_Pt);
                 Function  Primeiro: Tp_Par_Pt;
                 Function  PrimeiroHorto(p:Tp_Par_Pt):Word;
                 Function  ProximoPar(H:Word):Tp_Par_Pt;
              end;

   VertPt   = ^Vertice;
   Vertice  = Record
                Horto  : Word;
                Prox,Antes  : VertPt;
              end;

   Ob_Rota = Object
               Num,
               TempoConsumido  : Word;
               Unid : Array[1..nMaxVertices] of Byte;
               Topo      : VertPt;
               Procedure Iniciar;
               Procedure Limpar;
               Procedure DoDia;   {Construir a rota do dia}
               Procedure Colocar(H:Word);
               Procedure Mostrar;
             end;

   Tp_Terno = Record
                V1,V2,Ganho:Word;
              end;

Var
   Lista     : Ob_Lista;
   Rota      : Ob_Rota;
   HortoUnid : Array[ 1..nMaxVertices] of Word;
   i,ContaDia,
   ContaTempo : Word;
   cam : TP_vetor;
   ArqPares : File of Tp_Terno;
   FimDaLista: Boolean;
```

```
Procedure Ob_Lista.Iniciar;
begin
   New(Topo);
   Topo^.h1:=0;
   Topo^.h2:=0;
   Topo^.G := 65000;
   Topo^.Prox:=Topo;
   Topo^.Antes:=Topo;
end;

Procedure Ob_Lista.Montar;
var
   Aux  : Tp_Par_Pt;
   Terno: Tp_Terno;
begin
   Num:=0;
   Assign(ArqPares,´Pares.Bin´);
   Reset(ArqPares);
   While Not(Eof(ArqPares)) do begin
      Read(ArqPares,Terno);
      Inc(Num);
      New(Aux);
      Aux^.H1:=Terno.V1;
      Aux^.H2:=Terno.V2;
      Aux^.G :=Terno.Ganho;
      Topo^.Antes^.Prox:=Aux;
      Aux^.Antes := Topo^.Antes;
      Aux^.Prox  := Topo;
      Topo^.Antes:= Aux;
   end;
   Close(ArqPares);
end;

Procedure Ob_Lista.Imprimir;
Var
  Aux : Tp_Par_Pt;
  Cont: Word;
begin
   cont:=1;
   Aux:= Topo^.Prox;
   Writeln;
   Repeat
     With Aux^ do
        Writeln(Cont:4,H1:4,H2:4,G:4);
     Inc(Cont);
     Aux:= Aux^.Prox;
   Until Aux=Topo
end;

Procedure Ob_Lista.Retirar;
Var
  Pt : Tp_Par_Pt;
begin
   if P=Topo then begin
      Writeln(´ A cabeca da lista esta sendo retirada.´,Num);
      Readln;
   end;
```

```
    P^.Antes^.Prox:=P^.Prox;
    P^.Prox^.Antes:=P^.Antes;
    Dispose(P);
    Dec(Num);
end;

Function Ob_Lista.Primeiro;
Var
  Aux : Tp_Par_Pt;
  Achou : Boolean;
begin
  Achou :=False;
  Aux:= Topo;
  Repeat
     Aux:=Aux^.Prox;
     if (HortoUnid[Aux^.H1]>0) then
       Achou:=True
     else
        if (HortoUnid[Aux^.H2]>0) then
           Achou:=True
        else
           if Aux<>Topo then
              Retirar(Aux);
  Until Achou or (Aux=Topo);
  if Aux=Topo then
     Primeiro:=Nil
  else
     Primeiro:=Aux;
end;

Function Ob_Lista.PrimeiroHorto;
Var
  Aux : Tp_Par_Pt;
  Achou: Boolean;
begin
  Achou:=False;
  If HortoUnid[P^.H1]=0 then
     PrimeiroHorto:=P^.H2
  else
     if HortoUnid[P^.H2]=0 then
        PrimeiroHorto:=P^.H1
     else begin
        Aux:=P;
        Repeat
           Aux:=Aux^.Prox;
           if (P^.H1=Aux^.H1) or (P^.H1=Aux^.H2) then begin
              Achou:=True;
              PrimeiroHorto:=P^.H2;
           end
           else
              if (P^.H2=Aux^.H1) or (P^.H2=Aux^.H2) then begin
                 Achou:=True;
                 PrimeiroHorto:=P^.H1;
              end;
        Until Achou or (Aux=Topo);
        if Aux=Topo then begin
           write(#7);
```

```
            PrimeiroHorto:=0;
         end;
      end;
end;

Function Ob_Lista.ProximoPar;
Var
  Aux : Tp_Par_Pt;
  Sair : Boolean;
  Horto2:Word;
begin
  Sair:= False;
  Aux:=Topo;
  Repeat
     Aux:= Aux^.Prox;
     If Aux^.H1=H then begin
        If HortoUnid[Aux^.H2]>0 then
           Sair:= True
        end
     else
        If Aux^.H2=H then
           If HortoUnid[Aux^.H1]>0 then
              Sair:= True;
        if (Aux^.H1=0) and (Aux^.H2=0) and (Aux<>Topo) then
           Retirar(Aux);
  Until Sair or (Aux=Topo);
  If Aux=Topo then
     ProximoPar:=Nil
  else
     ProximoPar:=Aux;
end;

{****************************************************************}

Procedure Ob_Rota.Iniciar;
begin
   New(Topo);
   Topo^.Prox :=Topo;
   Topo^.Antes:=Topo;
   Topo^.Horto:=HortoSede;
   Num:=0;
   TempoConsumido:=0;
end;

Procedure Ob_Rota.Limpar;
Var
   Aux: VertPt;
begin
   Num:=0;
   TempoConsumido:=0;
   While Topo^.Prox<>Topo do begin
      Aux:=Topo^.Prox;
      Aux^.Antes^.Prox:=Aux^.Prox;
      Aux^.Prox^.Antes:=Aux^.Antes;
      Dispose(Aux);
   end;
end;
```

```
Procedure Ob_Rota.Colocar;
Var
   Aux : VertPt;
   TempoViagem,TempoTrabalho,
   TempoRetorno,
   UnidTrabalho  : Word;
begin
   Inc(Num);
   New(Aux);
   Aux^.Horto:=H;
   Topo^.Antes^.Prox:=Aux;
   Aux^.Antes  := Topo^.Antes;
   Aux^.Prox   := Topo;
   Topo^.Antes := Aux;
   TempoViagem := Custo^[H,Aux^.Antes^.Horto];
   TempoRetorno:= Custo^[H,HortoSede];
   TempoTrabalho:=480 - (TempoConsumido+TempoViagem+TempoRetorno);
   if TempoTrabalho>=HortoUnid[H]*20 then
      UnidTrabalho:= HortoUnid[H]
   else
      UnidTrabalho:= Trunc(TempoTrabalho/20);
   HortoUnid[Aux^.Horto]:= HortoUnid[Aux^.Horto]-UnidTrabalho;
   TempoConsumido:=TempoConsumido + TempoViagem + 20*UnidTrabalho;
   Unid[H]:= UnidTrabalho;
end;

Function PodeIncluir(h:word):Boolean;
Var
   TempoViagem,
   TempoRetorno: Word;
   Dif         : Integer;
begin
   TempoViagem:= Custo^[Rota.Topo^.Antes^.Horto,H];
   TempoRetorno:= Custo^[H,HortoSede];
   Dif := (480 - (Rota.TempoConsumido+TempoViagem+TempoRetorno));
   PodeIncluir:=  (Dif >= 20) ;
end;

Procedure Ob_Rota.DoDia;
Var
   Prim_Par : Tp_Par_Pt;
   TempoTrabalhado,
   HortoI,HortoF    : Word;
   Fecha_o_Dia      : Boolean;

         Function Fechou:Boolean;
         begin
            if PodeIncluir(HortoI) then begin
               Colocar(HortoI);
               Fechou:= Not(HortoUnid[HortoI]=0);
            end
            else
               Fechou:=True;
         end;
begin
   If ContaDia=49 then
```

```
      Write('');
    TempoConsumido:=0;
    Prim_Par := Lista.Primeiro;
    if Prim_Par=Nil then
       begin
          FimDaLista:=True;
          Exit;
       end
    else begin
       HortoI:= Lista.PrimeiroHorto(Prim_Par);
       Colocar(HortoI);
       Fecha_o_Dia:= Not(HortoUnid[HortoI]=0);
       While  (Not Fecha_o_Dia) do begin
          HortoF:=HortoI;
          if Prim_Par^.H1=HortoI then
             HortoI:=Prim_Par^.H2
          else
             HortoI:=Prim_Par^.H1;
          if HortoUnid[HortoI]<>0 then
             Fecha_o_Dia:=Fechou
          else begin
             Lista.Retirar(Prim_Par);
             Prim_Par:=Lista.ProximoPar(HortoF);
             if Prim_Par=Nil then
                Exit
             else begin
                HortoI:=Lista.PrimeiroHorto(Prim_Par);
                Fecha_o_Dia:=Fechou;
             end
          end
       end
    end
end;

Procedure Caminho(Vi,Vf:Word);
var
   resp    : char;
   t,k ,p  : Word;
begin
   for k:=1 to NumHortos do
     cam[k]:=0;
   cam[1] := Vi ;
   cam[NumHortos]:= Vf;
   p:=teta^[Vi,Vf];
   if cam[1]<>p then
     begin
       t:=NumHortos;
       repeat
          k:=t-1;
          cam[k]:=p;
          p:=teta^[cam[1],cam[k]];
          t:=t-1;
       until p=cam[1];
     end;
end;

Procedure Ob_Rota.Mostrar;
```

```
Var
   Aux : VertPt;
   Vi,Vf,k,Tempo : Word;
begin
   Writeln;
   Writeln(´ Dia: ´,ContaDia);
   Aux:=Topo^.Prox;
   Repeat
      VI:= Aux^.Horto;
      Writeln(´ Horto:´,Vh[VI]:4,´   Unidades:´,Unid[VI]:4);
      Aux:=Aux^.Prox;
   Until Aux=Topo;
   Vi:= HortoSede;
   Aux:=Topo^.Prox;
   Write(´ Rota: (´,Vh[Vi],´)-´);
   Repeat
      Vf :=Aux^.Horto;
      Caminho(Vi,Vf);
      For k:=2 to NumHortos-1 do
         if Cam[k]<>0 then
            Write(Vh[Cam[k]],´-´);
      Vi:=Vf;
      Aux:=Aux^.Prox;
      Write(´[´,Vh[Cam[NumHortos]],´]-´);
   until Aux=Topo;
      Vf := Aux^.Horto;
      Caminho(Vi,Vf);
      For K:=2 to NumHortos-1 do
         if Cam[k]<>0 then
            Write(Vh[Cam[k]],´-´);
       Write(´(´,Vh[Cam[NumHortos]],´)´);
   Writeln;
   Tempo := TempoConsumido+Custo^[Vi,HortoSede];
   Writeln(´ Tempo Utilizado: ´,Tempo);
   ContaTempo:= ContaTempo + Tempo;
end;

{&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&}

Procedure MontaVetor;
Var
  i: word;
begin
   Reset(ArqHortos);
   NumHortos:= FileSize(ArqHortos);
   For i:=1 to NumHortos do begin
      Read(ArqHortos,Horto);
      HortoUnid[i]:=Horto.Unidades;
   end;
   Close(ArqHortos);
end;

begin
   Reset(ArqMatriz);
   New(Custo);
   New(Teta );
   Read(ArqMatriz,Custo^);
```

```
   Read(ArqMatriz,Teta^ );
   CriaVetores;
   MontaVetor;
   Lista.Iniciar;
   Lista.Montar;
   FimDaLista:= False;
   ClrScr;
   Writeln('* * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * ');
   Rota.Iniciar;
   ContaDia:=0;
   ContaTempo:=0;
   Repeat
      Rota.Limpar;
      Rota.DoDia;
      Inc(ContaDia);
      If Not FimDaLista then
         Rota.Mostrar;
   Until FimDaLista;
   Writeln;
   Writeln('  ...  Fim  ... ',#7,#7);
   Writeln('  Tempo Total Utilizado :',ContaTempo);
   Readln;
   Dispose(Custo);
   Dispose(Teta);
   Close(ArqMatriz);
end.
```

ANEXO E

RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO PROGRAMA SIMULA.PAS

* *

Dia: 1
Horto: 81 Unidades: 11
Rota: (100)-524-73-506-21-53-77-[81]-77-53-21-506-73-524-(100)
Tempo Utilizado: 470

Dia: 2
Horto: 81 Unidades: 11
Rota: (100)-524-73-506-21-53-77-[81]-77-53-21-506-73-524-(100)
Tempo Utilizado: 470

Dia: 3
Horto: 81 Unidades: 11
Rota: (100)-524-73-506-21-53-77-[81]-77-53-21-506-73-524-(100)
Tempo Utilizado: 470

Dia: 4
Horto: 81 Unidades: 2
Horto: 64 Unidades: 8
Rota: (100)-524-73-506-21-53-77-[81]-[64]-81-77-53-21-506-73-524-(100)
Tempo Utilizado: 470

Dia: 5
Horto: 64 Unidades: 10
Rota: (100)-524-73-506-21-53-77-81-[64]-81-77-53-21-506-73-524-(100)
Tempo Utilizado: 470

Dia: 6
Horto: 64 Unidades: 10
Rota: (100)-524-73-506-21-53-77-81-[64]-81-77-53-21-506-73-524-(100)
Tempo Utilizado: 470

Dia: 7
Horto: 64 Unidades: 10
Rota: (100)-524-73-506-21-53-77-81-[64]-81-77-53-21-506-73-524-(100)
Tempo Utilizado: 470

Dia: 8
Horto: 64 Unidades: 10
Rota: (100)-524-73-506-21-53-77-81-[64]-81-77-53-21-506-73-524-(100)
Tempo Utilizado: 470

Dia: 9
Horto: 64 Unidades: 6
Horto: 63 Unidades: 3
Rota: (100)-524-73-506-21-53-77-81-[64]-81-[63]-501-71-506-73-524-(100)
Tempo Utilizado: 479

Dia: 10
Horto: 79 Unidades: 2
Horto: 78 Unidades: 10
Rota: (100)-524-73-[79]-[78]-501-71-506-73-524-(100)
Tempo Utilizado: 480

Dia: 11
Horto: 78 Unidades: 12
Rota: (100)-524-73-506-71-501-[78]-501-71-506-73-524-(100)
Tempo Utilizado: 478

Dia: 12
Horto: 78 Unidades: 12
Rota: (100)-524-73-506-71-501-[78]-501-71-506-73-524-(100)
Tempo Utilizado: 478

Dia: 13
Horto: 78 Unidades: 4
Horto: 63 Unidades: 1
Horto: 77 Unidades: 5
Rota: (100)-524-73-506-71-501-[78]-[63]-[77]-53-21-506-73-524-(100)
Tempo Utilizado: 476

Dia: 14
Horto: 77 Unidades: 13
Rota: (100)-524-73-506-21-53-[77]-53-21-506-73-524-(100)
Tempo Utilizado: 474

Dia: 15
Horto: 77 Unidades: 13
Rota: (100)-524-73-506-21-53-[77]-53-21-506-73-524-(100)
Tempo Utilizado: 474

Dia: 16
Horto: 77 Unidades: 13
Rota: (100)-524-73-506-21-53-[77]-53-21-506-73-524-(100)
Tempo Utilizado: 474

Dia: 17
Horto: 77 Unidades: 13
Rota: (100)-524-73-506-21-53-[77]-53-21-506-73-524-(100)
Tempo Utilizado: 474

Dia: 18
Horto: 77 Unidades: 9
Horto: 84 Unidades: 4
Rota: (100)-524-73-506-21-53-[77]-[84]-519-506-73-524-(100)
Tempo Utilizado: 480

Dia: 19
Horto: 84 Unidades: 14
Rota: (100)-524-73-506-519-[84]-519-506-73-524-(100)
Tempo Utilizado: 480

Dia: 20
Horto: 84 Unidades: 1
Horto: 71 Unidades: 11
Rota: (100)-524-73-506-519-[84]-77-93-[71]-506-73-524-(100)
Tempo Utilizado: 461

Dia: 21
Horto: 501 Unidades: 14
Rota: (100)-524-73-506-71-[501]-71-506-73-524-(100)
Tempo Utilizado: 472

Dia: 22
Horto: 501 Unidades: 1
Horto: 71 Unidades: 13
Rota: (100)-524-73-506-71-[501]-[71]-506-73-524-(100)
Tempo Utilizado: 472

Dia: 23
Horto: 502 Unidades: 14
Rota: (100)-524-73-506-[502]-506-73-524-(100)
Tempo Utilizado: 466

Dia: 24
Horto: 502 Unidades: 3
Horto: 504 Unidades: 10
Rota: (100)-524-73-506-[502]-[504]-502-506-73-524-(100)
Tempo Utilizado: 474

Dia: 25
Horto: 504 Unidades: 11
Rota:: (100)-524-73-506-502-[504]-502-506-73-524-(100)
Tempo Utilizado: 434

Dia: 26
Horto: 71 Unidades: 14
Rota: (100)-524-73-506-[71]-506-73-524-(100)
Tempo Utilizado: 464

Dia: 27
Horto: 71 Unidades: 11
Horto: 83 Unidades: 3
Rota: (100)-524-73-506-[71]-[83]-30-44-73-524-(100)
Tempo Utilizado: 469

Dia: 28
Horto: 37 Unidades: 4
Horto: 26 Unidades: 6
Horto: 14 Unidades: 3
Rota: (100)-524-[37]-[26]-37-[14]-537-73-524-(100)
Tempo Utilizado: 467

Dia: 29
Horto: 83 Unidades: 4
Horto: 30 Unidades: 12
Rota: (100)-524-73-44-30-[83]-[30]-44-73-524-(100)
Tempo Utilizado: 480

Dia: 30
Horto: 56 Unidades: 2
Horto: 62 Unidades: 3
Horto: 55 Unidades: 10
Rota: (100)-500-555-22-45-[56]-[62]-[55]-73-524-(100)
Tempo Utilizado: 480

Dia: 31
Horto: 30 Unidades: 16
Rota: (100)-524-73-44-[30]-44-73-524-(100)
Tempo Utilizado: 464

Dia: 32
Horto: 30 Unidades: 16
Rota: (100)-524-73-44-[30]-44-73-524-(100)
Tempo Utilizado: 464

Dia: 33
Horto: 30 Unidades: 16
Rota: (100)-524-73-44-[30]-44-73-524-(100)
Tempo Utilizado: 464

Dia: 34
Horto: 30 Unidades: 16
Rota: (100)-524-73-44-[30]-44-73-524-(100)
Tempo Utilizado: 464

Dia: 35
Horto: 30 Unidades: 11
Horto: 44 Unidades: 5
Rota: (100)-524-73-44-[30]-[44]-73-524-(100)
Tempo Utilizado: 464

Dia: 36
Horto: 505 Unidades: 10
Horto: 506 Unidades: 3
Horto: 44 Unidades: 1
Horto: 15 Unidades: 2
Rota: (100)-524-73-506-[505]-[506]-[44]-[15]-73-524-(100)
Tempo Utilizado: 474

Dia: 37
Horto: 55 Unidades: 17
Rota: (100)-524-73-[55]-73-524-(100)
Tempo Utilizado: 474

Dia: 38
Horto: 55 Unidades: 17
Rota: (100)-524-73-[55]-73-524-(100)
Tempo Utilizado: 474

Dia: 39
Horto: 55 Unidades: 17
Rota: (100)-524-73-[55]-73-524-(100)
Tempo Utilizado: 474

Dia: 40
Horto: 55 Unidades: 1
Horto: 45 Unidades: 2
Horto: 22 Unidades: 5
Horto: 13 Unidades: 7
Rota: (100)-524-73-[55]-62-[45]-[22]-555-[13]-500-(100)
Tempo Utilizado: 462

Dia: 41
Horto: 14 Unidades: 17
Rota: (100)-524-73-537-[14]-537-73-524-(100)
Tempo Utilizado: 470

Dia: 42
Horto: 14 Unidades: 16
Rota: (100)-524-73-537-[14]-537-73-524-(100)
Tempo Utilizado: 470

Dia: 43
Horto: 41 Unidades: 16
Rota: (100)-524-73-12-526-[41]-526-12-73-524-(100)
Tempo Utilizado: 466

Dia: 44
Horto: 41 Unidades: 6
Horto: 12 Unidades: 10
Rota: (100)-524-73-12-526-[41]-526-[12]-73-524-(100)
Tempo Utilizado: 466

Dia: 45
Horto: 15 Unidades: 17
Rota: (100)-524-73-[15]-73-524-(100)
Tempo Utilizado: 474

Dia: 46
Horto: 15 Unidades: 10
Horto: 12 Unidades: 6
Rota: (100)-524-73-[15]-[12]-73-524-(100)
Tempo Utilizado: 468

Dia: 47
Horto: 12 Unidades: 18
Rota: (100)-524-73-[12]-73-524-(100)
Tempo Utilizado: 478

Dia: 48
Horto: 12 Unidades: 18
Rota: (100)-524-73-[12]-73-524-(100)
Tempo Utilizado: 478

Dia: 49
Horto: 12 Unidades: 18
Rota: (100)-524-73-[12]-73-524-(100)
Tempo Utilizado: 478

Dia: 50
Horto: 12 Unidades: 18
Rota: (100)-524-73-[12]-73-524-(100)
Tempo Utilizado: 478

Dia: 51
Horto: 4 Unidades: 6
Horto: 34 Unidades: 9
Horto: 10 Unidades: 3
Rota: (100)-20-3-[4]-[34]-[10]-20-(100)
Tempo Utilizado: 480

Dia: 52
Horto: 42 Unidades: 13
Rota: (100)-524-[42]-524-(100)
Tempo Utilizado: 468

Dia: 53
Horto: 42 Unidades: 1
Horto: 75 Unidades: 8
Horto: 73 Unidades: 3
Rota: (100)-524-[42]-540-[75]-[73]-524-(100)
Tempo Utilizado: 469

Dia: 54
Horto: 10 Unidades: 18
Rota: (100)-20-[10]-20-(100)
Tempo Utilizado: 462

Dia: 55
Horto: 10 Unidades: 18
Rota: (100)-20-[10]-20-(100)
Tempo Utilizado: 462

Dia: 56
Horto: 10 Unidades: 4
Horto: 9 Unidades: 14
Rota: (100)-20-[10]-47-[9]-47-20-(100)
Tempo Utilizado: 473

Dia: 57
Horto: 481 Unidades: 14
Horto: 49 Unidades: 5
Rota: (100)-503-32-516-[481]-[49]-524-(100)
Tempo Utilizado: 477

Dia: 58
Horto: 13 Unidades: 13
Horto: 49 Unidades: 4
Rota: (100)-500-[13]-555-510-481-[49]-524-(100)
Tempo Utilizado: 461

Dia: 59
Horto: 49 Unidades: 10
Horto: 24 Unidades: 8
Rota: (100)-524-[49]-[24]-524-(100)
Tempo Utilizado: 461

```
Dia: 60
Horto:  47   Unidades:   5
Horto:   9   Unidades:   3
Horto:  25   Unidades:  11
Rota: (100)-20-[47]-[9]-47-[25]-20-(100)
 Tempo Utilizado: 476

Dia: 61
Horto:  25   Unidades:   8
Horto:  46   Unidades:  11
Rota: (100)-20-[25]-20-[46]-(100)
 Tempo Utilizado: 473

Dia: 62
Horto:  73   Unidades:  20
Rota: (100)-524-[73]-524-(100)
 Tempo Utilizado: 478

Dia: 63
Horto:  73   Unidades:   7
Horto:  24   Unidades:  12
Rota: (100)-524-[73]-[24]-524-(100)
 Tempo Utilizado: 465

Dia: 64
Horto:  46   Unidades:   4
Horto:  19   Unidades:   5
Horto:  51   Unidades:  10
Rota: (100)-[46]-[19]-[51]-(100)
 Tempo Utilizado: 474

Dia: 65
Horto:  24   Unidades:  20
Rota: (100)-524-[24]-524-(100)
 Tempo Utilizado: 480

Dia: 66
Horto:  24   Unidades:   7
Horto: 480   Unidades:   7
Horto:  16   Unidades:   2
Horto:  43   Unidades:   2
Rota: (100)-524-[24]-[480]-530-[16]-530-524-[43]-(100)
 Tempo Utilizado: 472

Dia: 67
Horto:  43   Unidades:  21
Rota: (100)-[43]-(100)
 Tempo Utilizado: 478

Dia: 68
Horto:  43   Unidades:  21
Rota: (100)-[43]-(100)
 Tempo Utilizado: 478
```

Dia: 69
Horto: 43 Unidades: 2
Horto: 6 Unidades: 12
Horto: 17 Unidades: 1
Horto: 503 Unidades: 5
Rota: (100)-[43]-[6]-[17]-[503]-(100)
Tempo Utilizado: 466

Dia: 70
Horto: 51 Unidades: 4
Horto: 2 Unidades: 15
Rota: (100)-[51]-[2]-(100)
Tempo Utilizado: 480

Dia: 71
Horto: 70 Unidades: 11
Horto: 72 Unidades: 8
Rota: (100)-[70]-[72]-(100)
Tempo Utilizado: 434

Dia: 72
Horto: 2 Unidades: 20
Rota: (100)-[2]-(100)
Tempo Utilizado: 480

Dia: 73
Horto: 2 Unidades: 20
Rota: (100)-[2]-(100)
Tempo Utilizado: 480

Dia: 74
Horto: 2 Unidades: 20
Rota: (100)-[2]-(100)
Tempo Utilizado: 480

Dia: 75
Horto: 2 Unidades: 20
Rota: (100)-[2]-(100)
Tempo Utilizado: 480

Dia: 76
Horto: 2 Unidades: 20
Rota: (100)-[2]-(100)
Tempo Utilizado: 480

Dia: 77
Horto: 2 Unidades: 20
Rota: (100)-[2]-(100)
Tempo Utilizado: 480

Dia: 78
Horto: 2 Unidades: 20
Rota: (100)-[2]-(100)
Tempo Utilizado: 480

```
Dia: 79
Horto:   2  Unidades:  20
Rota: (100)-[2]-(100)
 Tempo Utilizado: 480

Dia: 80
Horto:   2  Unidades:   5
Horto: 503  Unidades:   2
Rota: (100)-[2]-[503]-(100)
 Tempo Utilizado: 231

 ...  Fim  ...
 Tempo Total Utilizado :37468
```

GLOSSÁRIO

Aceiros - São os desbastes de terrenos em volta das matas.

Algoritmo - É o conjunto predeterminado e bem definido de regras e processos destinados a solução de um problema, com um número finito de etapas.

Balizas - Haste reta de madeira ou tubo de aço, utilizadas para demarcar ou balizar um alinhamento no terreno.

Bit - É a unidade de medida de informação.

Cruzeta Angular - Régua em forma de T.

Dendrométricas - São as medidas das dimensões das árvores e quantidade de madeira que podem fornecer.

Fluxograma - Representação gráfica da definição, análise e solução de um problema na qual são empregados símbolos geométricos e notações simbólicas.

Funções (Function) - É um subprograma utilizado para facilitar a construção de grandes problemas.

Hipsômetro - Aparelho para medir a altitude.

Horto Florestal - Estabelecimento onde se cultivam espécimes florestais.

Inventário Florestal - Levantamento sistemático das árvores que compõem os hortos florestais.

Picada - Atalho estreito.

Procedimentos (Procedure) - É um subprograma utilizado para facilitar a construção de grandes problemas.

Roteirização - Indicação de caminhos.

Suta - Instrumento com que se marcam ângulos no terreno.

Talhões - Terreno para cultura.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

1. Baass, K. G., " Design of Zonal Systems for Aggregate Transportation Planning Models ", Transportation Research Record 807, 1981, pp. 1-6.

2. Balinski, M. L., " Integer Programming : Methods, Uses, Computation ", Management Science, Vol. 12, Nº 3, 1965, pp. 253-313.

3. Bellmore, M. e Nemhauser, G. L., " The Traveling Salesman Problem : A Survey ", Operations Research, Vol. 16, 1968, pp. 538-558.

4. Bellmore, M. e Malone, J. C., " Pathology of Traveling - Salesman Subtour-Elimination Algorithms ", Operations Research, Vol. 19, 1971, pp. 278-307.

5. Binfaré Neto, J., " Método para Localização de uma Sede Móvel na Realização de Inventário Florestal ", Dissertação de Mestrado UFSC, Florianópolis, 1993.

6. Burns, L. D., Hall, R. W. e Blumenfeld, D. E., " Distribution Strategies that Minimize Transportation and Inventory Costs ", Operations Research, Vol. 33, Nº 3, 1985, pp. 469-490.

7. Chen, W. K., " Applied Graph Theory ", North-Holland, Amsterdam, 1971.

8. Christofides, N., " An Algorithm for the Chromatic Number of a Graph ", The Computer Journal, Vol. 14, Nº 1, 1971, pp. 38-39.

9. Christofides, N., " Bounds for the Travelling - Salesman Problem ", Operations Research, Vol. 20, 1972, pp. 1044-1056.

10. Christofides, N., " Graph Theory - An Algorithmic Approach. ", Academic Press London, 1975.

11. Christofides, N. e Eilon, S., " Algorithms for Large - scale Travelling Salesman Problems ", Operational Research Quartely, Vol. 23, Nº 4, 1972, pp. 511-518.

12. Christofides, N. e Eilon, S., " An Algorithm for the Vehicle - dispatching Problem ", Operational Research Quartely, Vol. 20, Nº 3, 1969, pp. 309-318.

13. Clarke, G. e Wright, J. W., " Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points ", Operations Research, Vol. 12, 1964, pp. 568-581.

14. Crowder, H. e Padberg, M. W., " Solving Large-Scale Symmetric Travelling Salesmam Problems to Optimality ", Management Science, Vol. 26, Nº 5, 1980, pp. 495-509.

15. Cummins, R. L., " Hamilton Circuits in Tree Graphs ", IEEE Transactions on Circuit Theory, Vol. 13, Nº 1, 1966, pp. 82-99.

16. Daganzo, C. F., " The Length of Tours in Zones of Different Shapes ", Transportation Research, Vol. 18B, Nº 2, 1984, pp. 135-145.

17. Daskin, M. S., " Logistics : An Overview of the State of the Art and Perspectives on Future Research ", Transportation Research, Vol. 19A, Nº 5/6, 1985, pp. 383-398.

18. Desler, J. F. e Hakimi, S. L., " A Graph-Theoretic Approach to a Class of Integer-Programming Problems ", Operations Research, Vol. 17, 1969, pp. 1017-1033.

19. Edmonds, J. e Johnson, E. L., " Matching, Euler Tours and the Chinese Postman ", Mathematical Programming, Vol. 5, 1973, pp. 88-124.

20. Eilon, S., Watson-Gandy, C. D. T. e Christofides, N., " Distribution Management : Mathematical Models and Pratical Analysis ", Griffin, London, 1971.

21. Floyd, R. W., " Algorithm 97 : Shortest Path ", Communications of the Association for Computing Machinery, Vol. 5, 1962, p. 345.

22. Frank, H. e Frisch, I. T., " Communication Transmission and Transportation Networks ", Addison Wesley, Reading, Massachusetts, 1971.

23. Garfinkel, R. S. e Nemhauser, G. L., " Integer Programming ", Wiley, New York, 1972.

24. Garfinkel, R. S. e Nemhauser, G. L., " The Set-Partitioning Problem: Set Covering With Equality Constraints ", Oper. Res., Vol. 17, 1969, pp. 848-856.

25. Gaskell, T. J., " Bases for Vehicle Fleet Scheduling ", Operational Research Quarterly, Vol. 18, Nº 3, 1967, pp. 281-295.

26. Gillett, B. E. e Miller, L. R., " A Heuristic Algorithm for the Vehicle-Dispatch Problem ", Operations Research, Vol. 22, 1974, pp. 340-349.

27. Gimpel, J. F., " A Reduction Technique for Prime Implicant Tables ", IEEE Transactions on Electronic Computers, Vol. 14, 1965, pp. 535-541.

28. Golden, B. L. e Assad, A. A., " Perspectives on Vehicle Routing : Exciting New Developments ", Operations Research, Vol. 34, Nº 5, 1986, pp. 803-810.

29. Golden, B., Bodin, L., Doyle, T. e Stewart Jr., W., " Approximate Traveling Salesman Algorithms ", Operations Research, Vol. 28, Nº 3, Parte II, 1980, pp. 694-711.

30. Gomes, F. P., " Novos Aspectos do Problema do Tamanho Ótimo das Parcelas em Experimentos com Plantas Arbóreas ", Pesquisa Agropecuária Brasileira ", Brasília, Vol. 23, Nº 1, 1988, pp. 59-62.

31. Gomes, F. P., " O Problema do Tamanho das Parcelas em Experimentos com Plantas Arbóreas ", Pesquisa Agropecuária Brasileira, Vol. 19, Nº 12, 1984, pp. 1507-1512.

32. Gomes, F. P. e Couto, H. T. Z., " O Tamanho Ótimo da Parcela Experimental para Ensaios com Eucaliptos ", IPEF, Piracicaba, Nº 31, 1985, pp. 75-77.

33. Hall, R. W., " Determining Vehicle Dispatch Frequency When Shipping Frequency Differs Among Suppliers ", Transportation Research, Vol. 19B, Nº 5, 1985, pp. 421-431.

34. Harary, F., " Graph Theory ", Addison - Wessley, Reading, Massachusetts, 1969.

35. Harary, F., Norman, R. Z. e Cartwright, D., " Structural Models : An Introduction to the Theory of Directed Graphs ", Wiley, New York, 1965.

36. Held, M. e Karp, R. M., " The Traveling Salesman Problem and Minimum Spanning Trees, Operations Research, Vol. 18, 1970, pp. 1138-1162.

37. Hu, T. C., " Integer Programming and Network Flows ", Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, 1969.

38. Kaufmann, A., " Graphs, Dynamic Programming and Finite Games", Academic Press, New York, 1967.

39. Klein, M., " A Primal Method for Minimal Cost Flows With Applications to the Assignment and Transportation Problems ", Management Science, Vol. 14, Nº 3, 1967, pp. 205-220.

40. Knödel, W., " Algorithm 7 : Travelling Salesman Problem ", Computing 3, 1968, pp. 151-156.

41. Knuth, D. E., " The Art of Computer Programming, Vol. 1 / Fundamental Algorithms ", Addison Wesley, Reading, Massachusetts, 1968.

42. Laporte, G., Nobert, Y. e Desrochers, M., " Optimal Routing Under Capacity and Distance Restrictions ", Operations Research, Vol. 33, Nº 5, 1985, pp. 1050-1073.

43. Lawler, E. L., " Covering Problems : Duality Relations and a New Method of Solution ", J. SIAM Appl. Math., Vol. 14, Nº 5, 1966, 1115-1132.

44. Lenstra, J. K. e Rinnooy Kan, A. H. G., " Some Simple Applications of the Travelling Salesman Problem ", Operational Research Quarterly, Vol. 26, Nº 4, 1975, pp. 717-733.

45. Levy, J., " An Extended Theorem for Location on a Network ", Operational Research Quarterly, Vol. 18, Nº 4, 1967, 433-442.

46. Lin, S. e Kernighan, B. W., " An Effective Heuristic Algorithm for the Traveling-Salesman Problem ", Operations Research, Vol. 21, 1973, pp. 498-516.

47. Marshall, C. W., " Applied Graph Theory ", Wiley, New York, 1971.

48. Mayeda, W., " Graph Theory ", Wiley - Interscience, New York, 1972.

49. Moyles, D. M. e Thompson, G. L., " An Algorithm for Finding a Minimum Equivalent Graph of a Digraph ", Journal of the Association for Computing Machinery, Vol. 16, Nº 3, 1969, pp. 455-460.

50. Nicholson, T. A. J., " Finding the Shortest Route Between Two Points in a Network ", The Computer Jl., Vol 9, 1966, pp. 275-280

51. Novaes, A. G., " Designing Aspects of a Retail Delivery Service ", Revista Brasileira de Tecnologia, Vol. 6, 1975, pp. 155-167.

52. Novaes, A. G., " Sistemas Logísticos : Transporte, Armazenagem e Distribuição Física de Produtos ", Editora Edgard Blucher Ltda, 1989.

53. Openshaw, S., " Optimal Zoning Systems for Spatial Interaction Models ", Environment and Planning, Vol 9A, 1977, pp. 169-184.

54. Orloff, C. S., " Routing a Fleet of M Vehicles to / from a Central Facility ", Networks, Vol. 4, 1974, pp. 147-162.

55. Padberg, M. W. e Hong, S., " On the Symmetric Travelling Salesman Problem : A Computational Study ", Mathematical Programming Study 12, 1980, pp. 78-107.

56. Papadimitriou, C. H. e Steiglitz, K., " On the Complexity of Local Search for the Traveling Salesman Problem ", Siam J. Comput., Vol. 6, Nº 1, 1977, pp. 76-83.

57. Potts, R. B. e Oliver, R. M., " Flows in Transportation Networks ", Academic Press, New York, 1972.

58. Rabuske, M. A., " Introdução à Teoria dos Grafos ", Editora da UFSC, 1992.

59. Ramamoorthy, C. V., " Analysis of Graphs by Connectivity Considerations ", Journal of the Association for Computing Machinery, Vol. 13, Nº 2, 1966, pp. 211-222.

60. Rivest, R. L. e Vuillemin, J., " On Recognizing Graph Properties from Adjacency Matrices ", Theoretical Computer Science, Vol. 3, 1977, pp. 371-384.

61. Roberts, S. M. e Flores, B., " An Engineering Approach to the Traveling Salesman Problem ", Management Science, Vol. 13, Nº 3, 1966, pp. 269-288.

62. Rosenkrantz, D. J., Stearns, R. E. e Lewis, P. M., " An Analysis of Several Heuristics for the Traveling Salesman Problem ", Siam J. Commpüt., Vol. 6, Nº 3, 1977, pp. 563-581.

63. Roth, R., " Computer Solutions to Minimum-Cover Problems ", Operations Research, Vol. 17, 1969, pp. 455-465.

64. Scott, A., " Combinatorial Programming, Spatial Analysis and Planning ", Methuen, London, 1971.

65. Stein, D. M., " An Asymptotic, Probabilistic Analysis of a Routing Problem ", Mathematics of Operations Research, Vol. 3, Nº 2, 1978, pp. 89-101.

66. Syslo, M. M., Discrete Optimization Algorithms ", Prentice - Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1983.

67. Taha, H. A., " Operations Research ", Macmillan, New - York, 1971.

68. Teitz, M. B. e Bart, P., " Heuristic Methods for Estimating the Generalized Vertex Median of a Weighted Graph ", Operations Research, Vol. 16, 1968, pp. 955-961.

69. Tillman, F. A. e Cochran, H., " A Heuristic Approach for Solving the Delivery Problem ", The Journal of Industrial Engineering, Vol. 19, Nº 7, 1968, pp. 354-358.

70. Toregas, C., Swain, R., ReVelle, C. e Bergman, L., " The Location of Emergency Service Facilities ", Operations Research, Vol. 19, 1971, pp. 1363-1373.

71. Veiga, R. A. A., " Dendrometria e Inventário Florestal ", Botucatu, Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais ", 1984.

72. Welch, J. T. Jr., " A Mechanical Analysis of the Cyclic Structure of Undirected Linear Graphs ", Journal of the Association for Computing Machinery, Vol. 13, Nº 2, 1966, pp. 205-210.

73. Welsh, D. J. A. e Powell, M. B., " An Upper Bound for the Chromatic Number of a Graph and its Application to Timetabling Problems ", The Computer Jl., Vol. 10, 1967, pp. 85-86.

74. Yau, S. S., " Generation of all Hamiltonian Circuits, Paths, and Centers of a Graph, and Related Problems ", IEEE Transactions on Circuit Theory ", Vol. 14, 1967, pp. 79-81.