

UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA

CONCEPÇÃO DE UM MÓDULO INTERACTIVO
PARA GERAÇÃO DE ESCALAS DE PESSOAL
TRIPULANTE EM TRANSPORTES COLECTIVOS
URBANOS

José António de Vasconcelos Ferreira

I. S. T.
1988

43)

CON

Para o Prof. Atilio
Cardoso, um abraço
amigo.

João Vitor

CONCEPÇÃO DE UM MÓDULO INTERACTIVO PARA GERAÇÃO DE ESCALAS DE PESSOAL TRIPULANTE EM TRANSPORTES COLECTIVOS URBANOS

Dissertação apresentada por

José António de Vasconcelos Ferreira

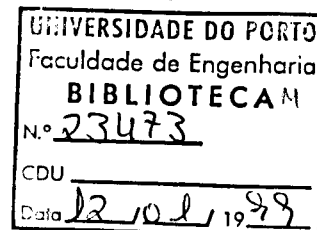
ao

Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa

para a concessão do grau de

Mestre em Investigação Operacional e Engenharia de Sistemas

Lisboa, Junho de 1988



*A minha mulher,
companheira de todos
os momentos.*

RESUMO

Nesta dissertação descreve-se um Módulo de Escalamento de Pessoal Tripulante a inserir num Sistema de Apoio à Decisão para Planeamento e Controlo de Serviços de Transportes Colectivos Urbanos.

Uma vez definidas as características gerais do problema de escalamento e discutidas formas alternativas de o abordar, passa-se à análise detalhada do problema no contexto específico do sistema de transportes da cidade do Porto. Apresenta-se e critica-se então o procedimento manual que é correntemente adoptado.

Seguidamente define-se a estrutura global do módulo de escalamento, realçando-se o suporte de informação sobre o qual ele assenta.

A modelação dos problemas de ordenação dos serviços e de escalamento dos tripulantes sem serviço fixo ocupa a parte subsequente da dissertação. Esta termina com a apresentação de conclusões e com a referência a áreas merecedoras de desenvolvimentos futuros.

ABSTRACT

This dissertation describes a Crew Rostering Module to be inserted in a Decision Support System for Vehicle and Crew Scheduling in Urban Transport Services.

Once the rostering problem is broadly characterized and different ways of approaching it are presented, the specific problem arising in the Oporto transport system is addressed. The manual rostering procedures currently adopted are then discussed.

The global structure of the rostering module is presented and the underlying data organization is described.

The next section addresses the modelling of the problems concerning the sequencing of duties and the assignment of duties to crews.

Finally the main conclusions are drawn and areas deserving further work are identified.

AGRADECIMENTOS

Desejo em primeiro lugar agradecer ao Prof. Rui Campos Guimarães, meu supervisor, a orientação estimulante e amiga. O meu reconhecimento pela total disponibilidade evidenciada e pela importância das suas sugestões.

Aos colegas Jorge Freire e Barros Basto um agradecimento muito especial pela sua colaboração imprescindível e permanente incentivo.

Ao Prof. José Paixão agradeço as referências bibliográficas fornecidas.

Ao Prof. Luís Valadares Tavares manifesto o meu apreço pelo apoio e compreensão demonstrada na qualidade de coordenador do curso de mestrado.

Por último, registre-se a importância do apoio financeiro proporcionado pelo INIC.

ÍNDICE

1. <u>INTRODUÇÃO</u>	1
1.1. ENQUADRAMENTO E OBJECTIVO DO TRABALHO REALIZADO	1
1.2. A IMPORTÂNCIA E A COMPLEXIDADE DO PROBLEMA DE ESCALAMENTO	2
1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	5
2. <u>O ESCALAMENTO DE TRIPULAÇÕES EM SISTEMAS DE TRANSPORTES COLECTIVOS URBANOS</u>	6
2.1. INSERÇÃO DO ESCALAMENTO NO PROCESSO GLOBAL DE PLANEAMENTO E CONTROLE DAS OPERAÇÕES	6
2.2. DEFINIÇÃO GERAL DO PROBLEMA DE ESCALAMENTO	10
2.3. FORMULAÇÕES ALTERNATIVAS PARA O PROBLEMA DE ESCALAMENTO	13
2.3.1. CRITÉRIO DE MINIMIZAÇÃO DE CUSTOS	13
2.3.2. CRITÉRIO DE MAXIMIZAÇÃO DE PREFERÊNCIAS	16
2.3.3. CRITÉRIO DE UNIFORMIZAÇÃO DAS CARGAS DE TRABALHO	20
2.3.4. OUTRAS FORMULAÇÕES	25
2.3.5. EXTENSÕES DO PROBLEMA DE ESCALAMENTO	26
3. <u>O ESCALAMENTO DO PESSOAL TRIPULANTE NO STCP</u>	28
3.1. BREVE CARACTERIZAÇÃO DO STCP	28
3.2. DESCRIÇÃO DO ACTUAL SISTEMA DE ESCALAMENTO	28
3.2.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS	28
3.2.2. AS ESCALAS	30
3.2.3. CARACTERÍSTICAS DOS SERVIÇOS DE TRANSPORTE	31
3.2.4. CARACTERÍSTICAS DO PESSOAL TRIPULANTE	32
3.2.5. OS PEDIDOS	36
3.2.6. ELABORAÇÃO MANUAL DA ESCALA	36
3.3. PRINCIPAIS PROBLEMAS A RESOLVER	44
3.3.1. A ORDENAÇÃO DOS SERVIÇOS	44
3.3.2. O ESCALAMENTO DOS TRIPULANTES SEM SERVIÇO FIXO	45
3.3.3. A DEFINIÇÃO DE POLÍTICAS DE EXPLORAÇÃO	46
4. <u>CONCEPÇÃO DO MÓDULO DE ESCALAMENTO</u>	48
4.1. FILOSOFIA GERAL ADOPTADA	48
4.1.1. FLEXIBILIDADE E INTEGRAÇÃO	48
4.1.2. INTERACTIVIDADE	49

4.2.	DESCRIÇÃO DO MÓDULO	51
4.2.1.	ESTRUTURA GLOBAL	51
4.2.2.	ESTRUTURAS DE INFORMAÇÃO	55
4.3.	ILUSTRAÇÃO DO FUNCIONAMENTO DO SISTEMA	57
5.	<u>MODELAÇÃO DOS PROBLEMAS DE ORDENAÇÃO DOS SERVIÇOS E DE ESCALAMENTO DOS TRIPULANTES SEM SERVIÇO FIXO</u>	62
5.1.	O PROBLEMA DA ORDENAÇÃO DOS SERVIÇOS	62
5.1.1.	FORMULAÇÃO	62
5.1.2.	MÉTODOS DE RESOLUÇÃO	65
5.1.2.1.	MÉTODO DE EASTMAN	66
5.1.2.2.	HEURÍSTICA COMPOSTA	67
5.1.2.3.	HEURÍSTICA DE AKL	69
5.1.3.	RESULTADOS OBTIDOS	71
5.2.	O PROBLEMA DO ESCALAMENTO DOS TRIPULANTES SEM SERVIÇO FIXO	71
5.2.1.	FORMULAÇÃO	71
5.2.2.	REFERÊNCIA AO MÉTODO DE RESOLUÇÃO	72
5.2.3.	VARIANTES DISPONÍVEIS: AFECTAÇÃO GLOBAL OU AFECTAÇÃO SEQUENCIAL	73
6.	<u>CONCLUSÃO</u>	74
	<u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	76
	<u>ANEXO</u>	

1. INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO E OBJECTIVO DO TRABALHO REALIZADO

O planeamento e controle das operações de transportes colectivos urbanos constitui um processo de decisão complexo, requerendo a resolução dinâmica e integrada de um vasto conjunto de problemas. Entre estes problemas figuram o estabelecimento da configuração geral da rede de transporte, a especificação dos horários das linhas que a compõem, a definição de um programa de afectação de viaturas às diferentes linhas e o estabelecimento dos horários do pessoal tripulante.

No âmbito do Serviço de Transportes Colectivos do Porto (STCP), este processo é da responsabilidade dos Serviços de Exploração. Até há pouco, estes Serviços vinham desenvolvendo a sua acção com recurso exclusivo a procedimentos manuais. No entanto, o grau de complexidade crescente que as operações implicam, agravado pelas perspectivas de crescimento que se colocam à empresa, levaram recentemente a uma mudança de atitude. Assim, foi decidido iniciar um processo faseado de informatização dos Serviços com o objectivo de apoiar o pessoal na resolução dos problemas, libertando-os das tarefas mais rotineiras e tornando-os mais disponíveis para aplicar a sua experiência em níveis de decisão superiores. Através da informatização dos Serviços, visa-se aumentar a sua capacidade de resposta e propiciar uma oportunidade para uma reflexão crítica sobre os métodos e técnicas adoptados, com eventual exploração de novas alternativas.

Para auxiliar nas tarefas de planeamento e controle a cargo dos Serviços de Exploração, e tendo em conta as características do processo global de decisão (nomeadamente, a sua complexidade e a existência de múltiplos objectivos), Sousa (1986) e Sousa e Guimarães (1986) propuseram a adopção de um Sistema de Apoio à Decisão (SAD). No seu desenvolvimento foi tida em consideração não só a experiência dos potenciais utilizadores e o conhecimento que possuem dos problemas a resolver, mas também a sua reduzida formação informática. O sistema assenta numa interface com o utilizador consistindo num vasto conjunto de ecrãs organizados segundo uma estrutura arborescente, uns servindo exclusivamente para permitir a selecção de uma entre várias opções (menus) e outros proporcionando a entrada ou saída de informação ou ainda o desencadeamento de processamentos.

Uma primeira versão do sistema (Sousa (1986)) incluía os seguintes módulos:

- (i) caracterização dos pontos da rede
- (ii) caracterização das linhas
- (iii) geração dos horários das linhas
- (iv) geração dos horários das viaturas

Posteriormente, foi completado um outro módulo referente à geração dos serviços das tripulações (Freire de Sousa (1988)). Os serviços (designados por "duties" na bibliografia anglo-saxónica) correspondem a períodos de trabalho atribuídos às tripulações. Tais períodos deverão, por um lado, satisfazer um conjunto de restrições impostas pela legislação e por acordos celebrados entre o STCP e os sindicatos e, por outro, cobrir, na sua globalidade, as tarefas associadas à tripulação das viaturas.

Após uma fase de experimentação do sistema, procedeu-se à sua instalação num microcomputador da empresa. Os resultados que vão sendo obtidos em testes com dados reais reforçaram a decisão entretanto tomada no sentido de avançar com o módulo que trata o escalamento do pessoal tripulante. A concepção e o início do desenvolvimento deste módulo constituem o objectivo do trabalho aqui descrito.

1.2. A IMPORTÂNCIA E A COMPLEXIDADE DO PROBLEMA DE ESCALAMENTO

De entre as tarefas que são objecto do SAD, a de geração dos horários das tripulações foi para o STCP, desde o início, o problema de mais urgente resolução por meios computacionais.

A realização diária de todos os serviços permite assegurar o funcionamento das viaturas, que assim podem cumprir os horários estabelecidos para as diferentes linhas. A sua concretização passa pela distribuição do pessoal disponível por esses serviços, operação designada de escalamento. Como resultado desta operação surge a escala: um documento destinado a uso interno da empresa através do qual se informam os trabalhadores sobre as tarefas que lhes estão atribuídas em cada dia.

A escala é o resultado de uma série de decisões tomadas a vários níveis e em momentos diversos, que no seu conjunto visam a resolução de um problema de importância crucial no contexto das atribuições dos Serviços de Exploração. Tal importância deriva das suas implicações operacionais e financeiras. No sector dos transportes, como de resto em muitos outros, o pessoal constitui um recurso caro em relação ao qual uma mudança de política não apresenta só repercussões imediatas. A sua gestão deve basear-se num processo de planeamento rigoroso que procure o equilíbrio entre os meios necessários e os recursos disponíveis, tentando evitar desperdícios e estrangulamentos só ultrapassáveis a longo prazo.

A variação da carga de trabalho durante os diferentes dias da semana e épocas do ano, acrescida das ausências não completamente previsíveis do pessoal, inviabiliza a satisfação de todos os serviços por pessoal em regime normal de trabalho. Assim, no STCP, é frequente recorrer-se a trabalho em regime extraordinário (bastante mais dispendioso) para cobrir determinadas pontas de serviço ou faltas. A extensão do trabalho efectuado em regime extraordinário tem em conta o balanço entre os custos extra associados a esse trabalho e os de aumentar os quadros de pessoal. A determinação do compromisso ideal é uma questão de difícil solução, exigindo a quantificação de inúmeros factores e a simulação de cenários distintos, de modo a encontrar a estratégia mais aconselhável. Uma vez estabelecido aquele compromisso, a elaboração das escalas diárias é, em si, um processo complexo. Esta complexidade deriva, em primeiro lugar, da dimensão do problema: a quantidade de serviços e o número de trabalhadores envolvidos são consideráveis e há que respeitar um vasto conjunto de restrições (algumas delas impondo uma interdependência entre escalas sucessivas). Em segundo lugar, resulta da falta de clareza e do conflito existente entre alguns dos seus objectivos. De facto, o escalamento envolve decisões sobre a satisfação das aspirações explicitadas pelo pessoal através da apresentação de pedidos que se referem tanto à alteração da sua situação na empresa como à obtenção de licenças que possibilitem a sua ausência em determinados dias. A política de concessões deve ter presentes os interesses da empresa e respeitar os direitos dos trabalhadores. Adicionalmente, implica a atribuição de serviços com características não uniformes a trabalhadores que manifestam preferências bem definidas e frequentemente coincidentes. A existência de regras, por mais sofisticadas e exaustivas que pretendam ser, nem sempre coloca o planeador ao abrigo de cometer aquilo que para alguns é tido como uma injustiça.

As decisões que influenciam o escalamento podem ser estruturadas em três níveis, de acordo com o nível hierárquico a que são tomadas, o horizonte temporal que visam e o tipo de matérias sobre as quais incidem:

- (i) As decisões de longo prazo são da responsabilidade da Administração (ou, no caso do STCP, do Conselho de Gerência) e resultam directamente da estratégia a seguir pela empresa. Incluem as políticas de admissão, formação, promoção e remuneração, definem as condições de trabalho e os aspectos relacionados com a segurança e estabelecem a atitude a tomar perante as forças sindicais. Tais decisões balizam os critérios a seguir na concessão de regalias e na elaboração das escalas.
- (ii) Órgãos hierárquicos intermédios, normalmente liderados pela Direcção dos Serviços de Exploração, decidem sobre questões que se repercutem no médio prazo. Exemplos disso são as respostas aos pedidos formulados pelo pessoal e a concretização das políticas de formação e promoção. Estas decisões são de carácter tático e fornecem um enquadramento relativamente rígido à elaboração das escalas.
- (iii) A distribuição do pessoal disponível pelos serviços a assegurar, a realizar diariamente, é efectuada por pessoal especializado e envolve a aplicação de técnicas e regras que operacionalizam as instruções recebidas e que devem retirar o máximo proveito dos recursos disponíveis.

As decisões tomadas aos níveis mais elevados influenciam e determinam as que delas estão dependentes. Desde que seja sempre garantida a possibilidade de tomar em conta directrizes gerais, parece correcto que a abordagem do problema do escalamento se faça a partir dos níveis inferiores. De facto, só um profundo conhecimento e análise das tarefas básicas envolvidas a estes níveis permite formular as questões de âmbito mais alargado e em relação a elas tomar decisões acertadas.

Finalmente, convém referir a forma extremamente dinâmica como se desenvolve o processo de escalamento. Não importa somente que as operações cumpram uma determinada sequência lógica e que o processo se reinicie periodicamente, tal como acontece nas etapas que conduzem à geração dos serviços.

No escalamento é imperativo que se façam validações constantes às alterações que permanentemente são introduzidas como resposta a factores de natureza incontrolável e inesperada. A necessidade de validar qualquer alteração resulta do facto de esta, por mais insignificante que seja, poder provocar incompatibilidades inaceitáveis e requerer novas alterações.

1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Tal como foi referido anteriormente, o estudo que se apresenta nesta dissertação teve por objectivo a concepção e o início do desenvolvimento de um módulo de escalamento incorporado num SAD para planeamento e controle de transportes colectivos urbanos.

O capítulo que sucede a esta breve introdução inicia-se naturalmente com uma caracterização geral daquele processo de planeamento e controle e prossegue com uma caracterização detalhada do problema de escalamento e das abordagens e modelos que têm sido propostos para a sua resolução.

As principais entidades envolvidas no processo de escalamento no STCP são apresentadas no capítulo 3. Aí se descrevem também os procedimentos seguidos na elaboração manual da escala, sendo identificados os principais problemas a resolver.

No capítulo 4 define-se a estrutura global do módulo de escalamento, realçando-se a importância do modo como a informação é armazenada e processada.

O capítulo 5 é dedicado à modelação dos problemas de ordenação dos serviços e de escalamento dos tripulantes sem serviço fixo. Para a resolução do primeiro destes problemas são propostos algoritmos alternativos, comparando-se os resultados por eles obtidos.

Por último, analisa-se o trabalho realizado e perspectiva-se o desenvolvimento do sistema.

2. O ESCALAMENTO DE TRIPULAÇÕES EM SISTEMAS DE TRANSPORTES COLECTIVOS URBANOS

2.1. INSERÇÃO DO ESCALAMENTO NO PROCESSO GLOBAL DE PLANEAMENTO E CONTROLE DAS OPERAÇÕES

O transporte de pessoas e bens envolve operações que mobilizam viaturas e pessoal tripulante. A gestão eficiente desses sistemas origina um vasto conjunto de problemas para os quais têm sido apresentadas formulações diversas e uma grande variedade de métodos de resolução. As abordagens mais significativas são descritas no trabalho síntese de Bodin et al. (1983) que atribui ao uso de modelos analíticos e técnicas quantitativas um papel instrumental na realização de poupanças que, embora representem uma pequena fracção das despesas totais, se convertem ao longo do tempo em valores substanciais.

De entre os problemas que se colocam no âmbito dos transportes, os que aparecem associados a sistemas de transportes colectivos urbanos, pelas características específicas de que se revestem e pela frequência com que se põem, constituem uma área de estudo diferenciada. A sua resolução é complexa e as repercussões relativas às soluções encontradas importam tanto às empresas transportadoras como àqueles que utilizam os seus serviços. Com a divulgação dos meios de cálculo automático nessas empresas, o interesse da comunidade científica pela resolução dessa classe de problemas aumentou consideravelmente.

Deste modo, nas duas últimas décadas, assistiu-se a grandes avanços nos campos teórico e prático. Os sistemas entretanto implementados, apresentados e debatidos a nível internacional (Wren (1981) e Rousseau (1985)), cobrem já uma razoável diversidade de situações registadas em diferentes países.

O planeamento e controle de um sistema de transportes colectivos urbanos envolve a resolução de um conjunto de problemas fortemente interligados entre si. Esta dependência mútua não tem sido sempre reconhecida, sobretudo quando se pretende produzir respostas imediatas a problemas mais restritos. No entanto, só um conhecimento completo do sistema, que passa pela identificação dos elementos em presença e pela análise do modo como interactivam, permite apoiar eficazmente a tomada de decisões, mesmo no caso de estas se referirem a aspectos parcelares. Assim entenderam Hoffstadt (1981) e Piccione et al. (1981), que, para as empresas

de transportes colectivos de Hamburgo e Roma, conceberam os sistemas esquematizados nas figuras 1 e 2, respectivamente.

Apesar dos dois esquemas não coincidirem totalmente, ambos denotam a preocupação dos respectivos autores de neles incluir os vários subproblemas, integrando-os num modelo único que deixa transparecer a sequência pela qual são abordados e o fluxo seguido pela informação. Os elementos fundamentais e a estrutura base são comuns e estão presentes no diagrama apresentado por Sousa (1986), reproduzido na figura 3.

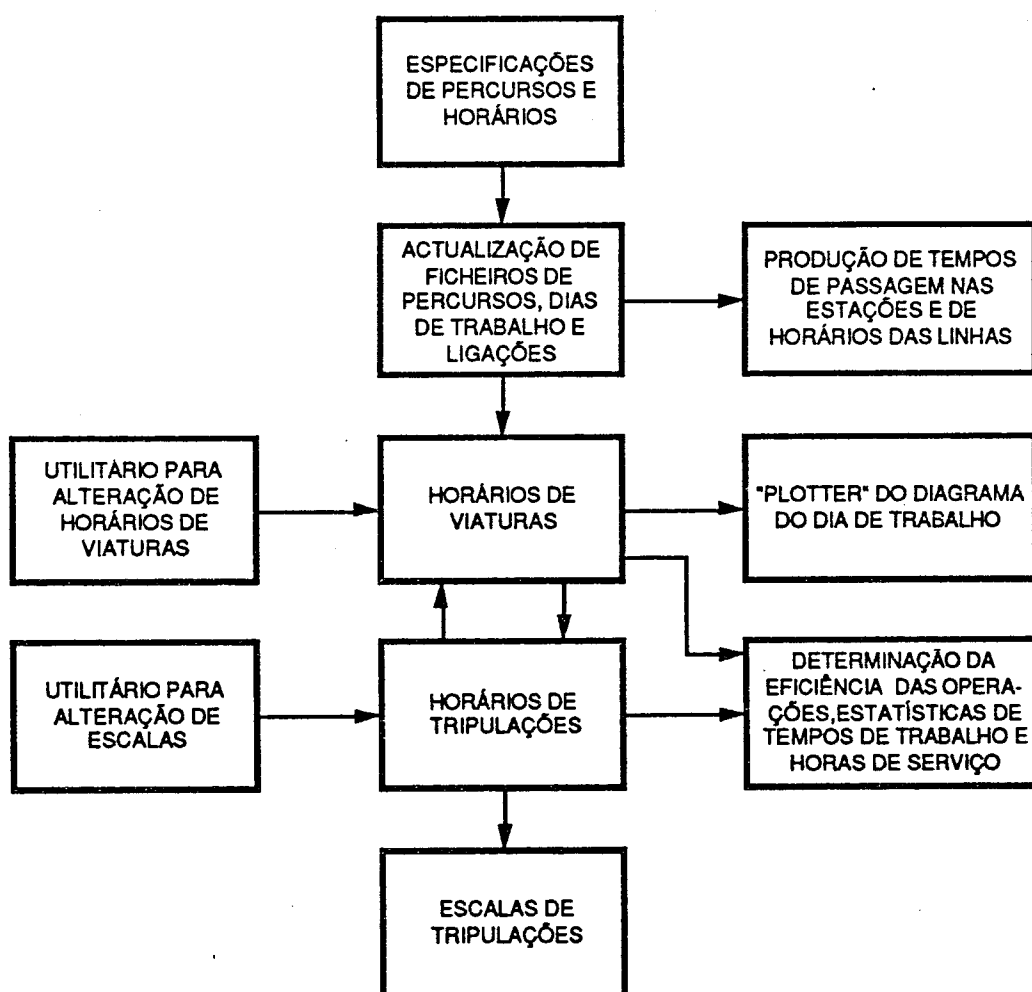


Figura 1 - Procedimento para geração de horários de viaturas, pessoal tripulante e escalas no sistema de Hamburgo (Hoffstadt (1981)).

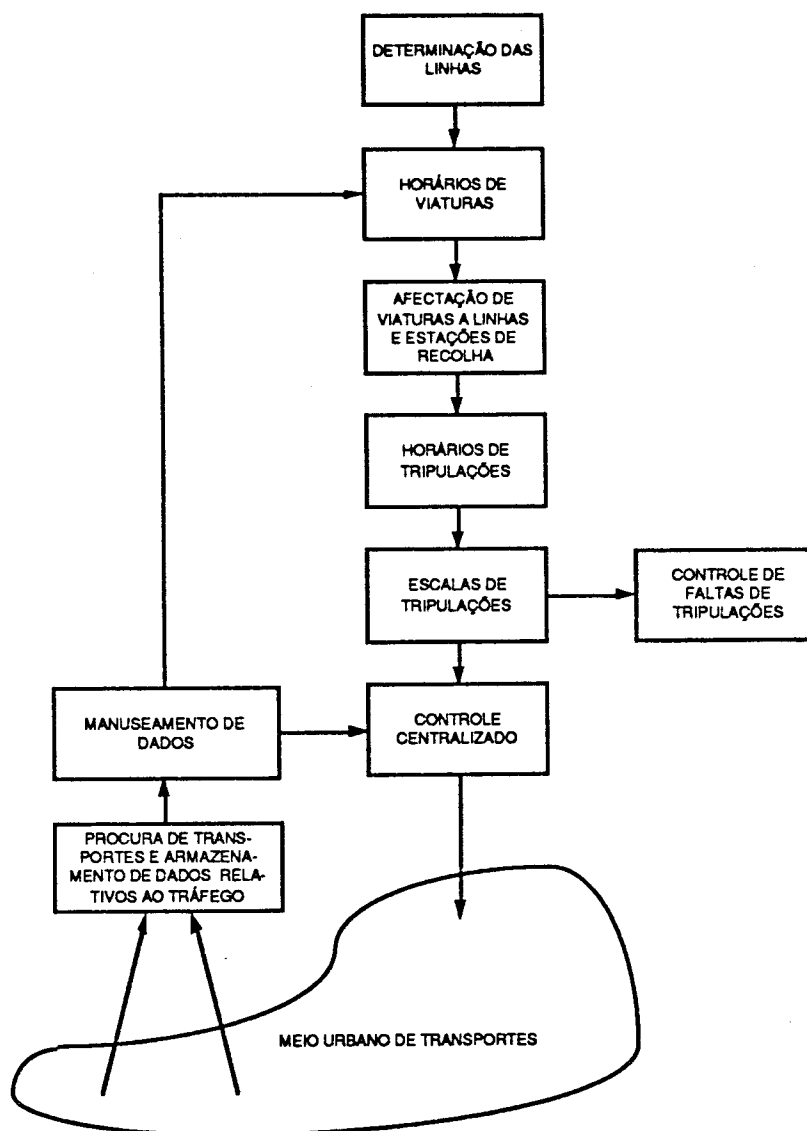


Figura 2 - Estrutura do planeamento operacional no sistema de Roma (Piccione et al. (1981)).

Em termos gerais pode afirmar-se que o processo de planeamento e controle das operações de um sistema de transportes colectivos urbanos engloba os seguintes problemas:

- (i) recolha de dados necessários à caracterização da procura, com recurso à realização de inquéritos (como por exemplo os do tipo origem/destino) e à análise dos planos de transportes e ocupação dos solos, e tratamento da informação obtida;
- (ii) definição da rede, com base na selecção de pontos e designação de percursos, estabelecimento de periodicidades para as diversas linhas

(variando consoante a hora do dia, o dia da semana e a época do ano) e elaboração dos horários ao público;

- (iii) determinação do número de viaturas necessárias e sua distribuição pelas viagens a efectuar (donde resulta a definição dos seus horários);
- (iv) formação dos serviços diários do pessoal tripulante, cumprindo a legislação laboral, os acordos sindicais e ainda outras normas;
- (v) afectação das tripulações aos serviços, tendo em consideração as preferências manifestadas pelo pessoal, o sistema de prioridades estabelecido para a sua satisfação e o conjunto de restrições operacionais.

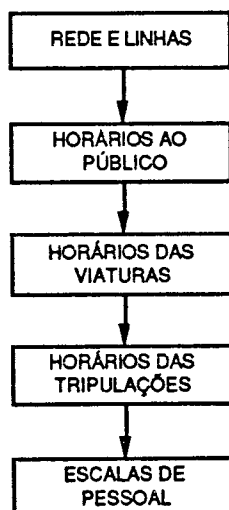


Figura 3 - Fases do processo de planeamento de serviços.

Estes problemas constituem as etapas em que o processo se desenvolve. A ordem pela qual foram enunciadas corresponde àquela por que são executadas e que respeita as precedências impostas pelas trocas de informação que se verificam entre elas (o "output" de uma serve de "input" à que lhe sucede). A tendência para separar os problemas, tratando-os como independentes, ditada pelo desejo de simplificar a sua abordagem, é contrariada pelos frequentes "feedbacks" existentes. Segundo Sousa (1986), "... embora havendo a preocupação de estabelecer as suas fronteiras por forma a minimizar as interacções entre eles, não é contudo possível anulá-las por completo".

Várias vias têm sido tentadas no desenvolvimento de métodos e sistemas computacionais que auxiliem os decisores na resolução dos problemas enunciados. Alguns dos sistemas implementados estão próximos dos procedimentos manuais tradicionais usados anteriormente. Tal pode traduzir dificuldades na concretização de procedimentos alternativos mas pode significar também a necessidade de preparar as empresas para propostas mais ousadas, começando por familiarizar os decisores com os meios informáticos e motivando a sua participação na construção e implementação dos sistemas (Hoffstadt (1981) e Dickinson et al (1981)). Noutros casos, optou-se pela introdução de novas técnicas, mais sofisticadas, que, embora baseadas em métodos heurísticos, representam uma evolução considerável nos procedimentos utilizados.

O esforço de investigação dedicado às diferentes questões tem sido desigual. A afectação das viaturas às viagens a realizar e a formação dos serviços do pessoal tripulante são os problemas que, pela sua estrutura e grau de complexidade, mais frequentemente têm sido objecto de tratamento matemático. Apesar da sua importância prática, o problema do escalamento das tripulações tem recebido menos atenção devido às variações que apresenta de empresa para empresa, à sua difícil modelação e ainda à sua localização no processo de planeamento.

Dos modelos matemáticos e dos sistemas informáticos espera-se, para além de uma contribuição para a melhoria das soluções obtidas, um aumento na rapidez e segurança dos procedimentos de planeamento e controle, com eventual libertação de parte do pessoal por eles responsável, e ainda a produção de informação melhor e mais actual. As soluções mais recentes apontam para as vantagens dos sistemas integrados de apoio à decisão, com uma estrutura modular flexível e cada vez mais interactivos (Pierick (1985), Wallis (1985), Williamson (1985), Rousseau e Blais (1985) e Luedtke (1985)).

2.2. DEFINIÇÃO GERAL DO PROBLEMA DE ESCALAMENTO

Em sistemas de transportes colectivos urbanos, o problema de escalamento do pessoal tripulante (designado na bibliografia anglo-saxónica por "rostering problem") consiste na afectação diária dos serviços às tripulações. O conjunto de serviços criados com a finalidade de garantir a operação das viaturas varia consoante se trata de dias úteis, sábados ou domingos/feriados. As tripulações não podem

realizar mais do que um serviço em cada dia (pelo que o serviço assume o carácter de unidade diária de trabalho) e têm direito a usufruir de períodos de descanso semanal e anual. A obrigatoriedade de garantir a realização de todos os serviços em dias sucessivos conduz, para um horizonte temporal específico, à formação de esquemas individuais de trabalho a distribuir pelo pessoal tripulante. A constituição desses esquemas, envolvendo a definição dos ciclos de trabalho-descanso e do tipo e sequência de serviços a combinar, é o objecto do problema de escalamento.

A investigação dedicada ao problema do escalamento das tripulações não reflecte a importância da sua resolução no contexto dos sistemas de transportes colectivos urbanos. De facto, as referências relativas ao problema são escassas e só muito raramente ele tem constituído o tema principal de trabalhos publicados. Esse esquecimento justifica-se ou pela grande simplicidade ou pela excessiva complexidade de que o problema se reveste.

Na maior parte dos sistemas de transportes norte-americanos o problema está claramente definido e a sua resolução é trivial. A distribuição dos serviços pelos tripulantes assenta num sistema de prioridades baseado na senioridade. O pessoal comunica individualmente qual o grau de preferência por cada um dos serviços em função das características destes. Os tripulantes são ordenados de acordo com a sua antiguidade na empresa sendo a lista percorrida no sentido decrescente dessa antiguidade. A cada tripulante é atribuído, de entre os serviços ainda disponíveis, aquele que merece a sua preferência. Acontece frequentemente que a mesma tripulação executa o mesmo trabalho todos os dias, o que no limite leva a que a solução obtida para o problema de geração dos serviços diários seja também uma solução final do problema de escalamento. As vantagens apontadas a este procedimento são a de que os percursos se tornam familiares às tripulações, facto que é desejado por muitas delas, e a de se tornarem mais fáceis para a empresa as tarefas de controle do sistema. Neste esquema, a desigualdade provocada pela diferença de conteúdo entre os diversos serviços é compensada pelo pagamento de salários proporcionais à carga horária de trabalho. As questões relacionadas com a imposição de períodos de férias e com a necessidade de cobrir diariamente a totalidade dos serviços, só por si não são suficientemente delicadas para justificar modelação matemática.

Quando todos os tripulantes, ou pelo menos aqueles que estão agrupados numa mesma categoria, recebem igual salário o problema assume contornos distintos. Esta é uma situação corrente em muitos dos sistemas de transportes europeus, como por exemplo na Itália, na Suécia e em Portugal (Jachnik (1981), Hagberg (1985) e Fonseca (1987)). Nestes casos, a preocupação dominante do processo de escalamento é a de proceder à distribuição dos serviços pelas tripulações segundo planos de trabalho individuais que se estendem por vários dias e que, pelos serviços que incluem e pela sequência que a estes se atribui, constituem cargas de trabalho equilibradas. A definição de tais planos está longe de ser trivial tornando útil o recurso a técnicas matemáticas sofisticadas para a resolução do problema. Em algumas aplicações práticas, numa tentativa de simplificação do problema, é feita a rotação diária de conjuntos de tripulações sobre determinados grupos de serviços afins. O elevado número de serviços que é preciso incluir em cada grupo, por forma a garantir a igualdade de condições de trabalho de grupo para grupo, acarreta duas dificuldades: por um lado o problema de sequenciamento dos serviços dentro de cada um dos grupos torna-se muito complexo e, por outro, o equilíbrio da carga de trabalho para as tripulações associadas a um grupo de serviços só é conseguida ao fim de um longo período de tempo.

De um modo geral, no escalamento do pessoal tripulante há que ter em conta factores de natureza diversa, nomeadamente os seguintes:

- (i) o aproveitamento dos recursos humanos existentes;
- (ii) a satisfação das aspirações individuais dos trabalhadores;
- (iii) o cumprimento da legislação geral, das cláusulas contratuais negociadas com as organizações sindicais e dos acordos estabelecidos directamente com os trabalhadores;
- (iv) o respeito por hábitos enraizados que se transformaram em autênticas normas internas;
- (v) a observação de restrições de natureza técnica e operacional.

Estes factores, implícita ou explicitamente considerados na generalidade dos sistemas de transportes colectivos urbanos, encerram diferenças acentuadas na

forma como são interpretados de empresa para empresa e como condicionam os procedimentos a adoptar no escalamento. Normalmente, os dois factores referidos em primeiro lugar são incluídos na função objectivo do problema (particularmente o primeiro, que se traduz directamente em custos) e os restantes são tratados como restrições. No entanto, esta formulação do problema é apenas uma das várias possíveis, sendo por isso discutível. Na verdade, os procedimentos manuais, usados ainda em grande escala, favoreciam o tratamento dos vários aspectos como se de restrições se tratasse, perspectiva que tem vindo a ser progressivamente alterada com a possibilidade de recurso aos meios de cálculo automático. A formulação a adoptar em cada caso dependerá fundamentalmente das características do problema concreto a resolver e dos juízos que o analista formular acerca de tais características.

2.3. FORMULAÇÕES ALTERNATIVAS PARA O PROBLEMA DE ESCALAMENTO

O objectivo do modelador é o de representar com fidelidade os problemas reais em termos matemáticos, de uma forma simples. No entanto, tal como refere Shepardson (1985), verifica-se com frequência a aplicação de modelos bem conhecidos mas completamente inadequados. No caso do problema do escalamento, a diversidade das situações encontradas de empresa para empresa, exige um esforço considerável na escolha do modelo mais adequado e explica as grandes diferenças detectadas entre as abordagens adoptadas por diversos autores.

Nestas circunstâncias torna-se difícil estabelecer uma classificação exaustiva de tais abordagens. As formulações a seguir apresentadas não se podem considerar demonstrativas de todas as formas de lidar com o problema do escalamento. No entanto, constituem o que de mais interessante se revelou numa pesquisa bibliográfica cuidada efectuada sobre o tema, ajudando a compreender a amplitude do problema.

2.3.1. CRITÉRIO DE MINIMIZAÇÃO DE CUSTOS

A figura 4(A) traduz as necessidades de pessoal para um determinado horizonte temporal. A satisfação destas necessidades impõe a selecção de um

conjunto de trabalhadores, a cada um dos quais se atribui o cumprimento de um ciclo de trabalho-descanso com características e custos próprios tal como se ilustra na figura 4(B).

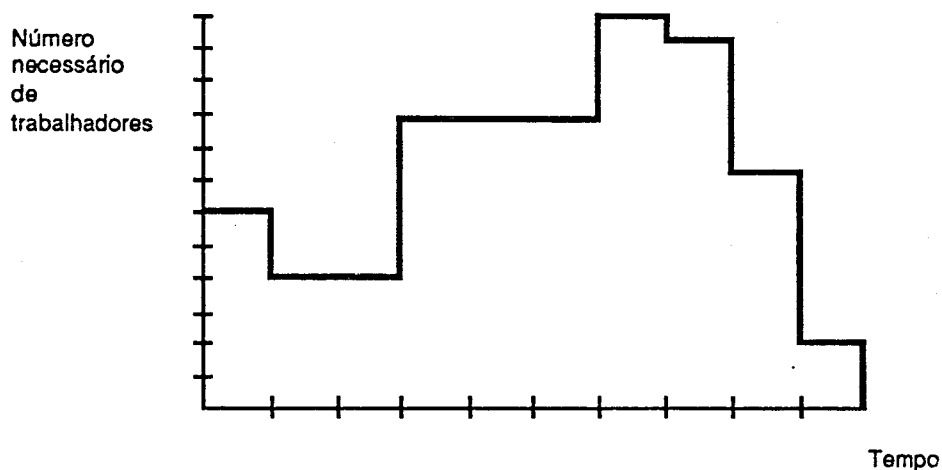


Figura 4(A) - Histograma das necessidades de pessoal.

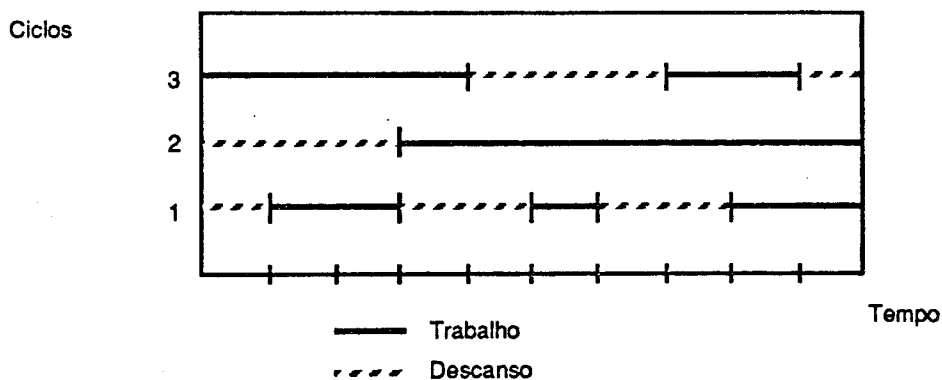


Figura 4(B) - Ciclos individuais de trabalho-descanso.

A tentativa de assegurar a realização da carga total de trabalho com um custo mínimo, admitindo que a mão-de-obra é homogênea, pode ser formulada como um problema generalizado de cobertura de conjuntos:

Minimizar

$$\sum_{j=1}^J c_j x_j$$

sujeito a

$$\sum_{j=1}^J a_{tj} x_j \geq d_t \quad \text{para } t=1, 2, \dots, T$$

$$x_j \geq 0 \text{ e inteiro} \quad \text{para } j=1, 2, \dots, J$$

onde

T : número de intervalos de tempo em que o horizonte temporal é dividido

d_t : número de trabalhadores necessários durante o intervalo t

J : número de ciclos admissíveis de trabalho-descanso

$$a_{tj} : \begin{cases} 1, & \text{se o ciclo } j \text{ corresponde a trabalho no intervalo } t \\ 0, & \text{se tal não suceder} \end{cases}$$

c_j : custo do ciclo j

x_j : número de trabalhadores a que é atribuído o ciclo j

A dificuldade de resolução deste problema varia muito com as características dos ciclos de trabalho-descanso. Se no horizonte temporal considerado cada ciclo só tiver um período de trabalho, a matriz dos coeficientes associados às restrições é totalmente unimodular e o problema simplifica-se extraordinariamente, podendo ser resolvido através de um modelo de fluxo em redes (Bodin et al. (1983)).

Uma situação semelhante à descrita ocorre quando o horizonte de planeamento é de 7 dias e os trabalhadores beneficiam de 2 dias consecutivos

de folga por semana. Os ciclos de trabalho-descanso possíveis são os representados na figura 5. Embora dentro do horizonte temporal considerado haja ciclos com dois períodos de trabalho, ao repetir tais ciclos aqueles períodos separados de trabalho unem-se por forma a constituírem períodos contínuos.

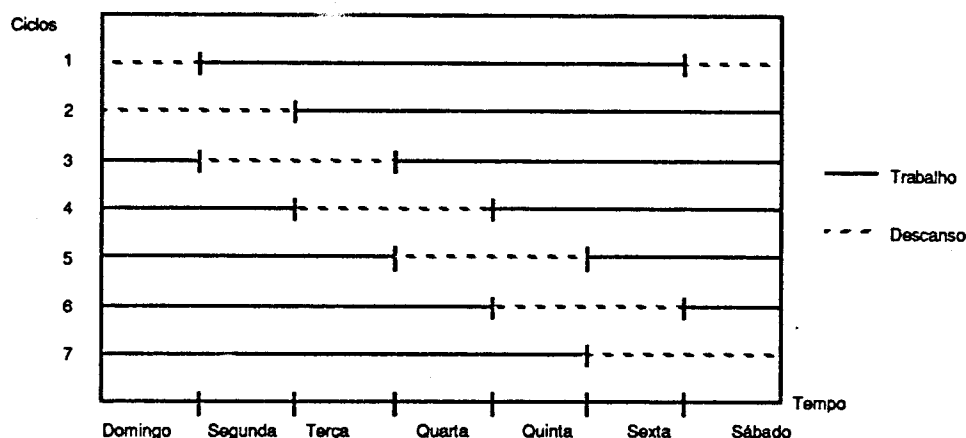


Figura 5 - Ciclos de trabalho-descanso quando se impõe dois dias consecutivos de descanso por semana.

Neste caso, os custos associados aos diferentes ciclos são normalmente idênticos, pelo que o objectivo do problema se pode converter na minimização do número de trabalhadores envolvidos ($c_j=1, j=1, \dots, 7$).

Paixão e Pato (1984) descrevem alguns métodos para a resolução deste caso particular, enquanto Bodin et al. (1983) afirmam que, para a maioria dos problemas deste tipo, a solução é obténivel em tempo polinomial resolvendo iterativamente vários problemas de fluxo em redes.

2.3.2. CRITÉRIO DE MAXIMIZAÇÃO DE PREFERÊNCIAS

Muitas empresas públicas de serviços operam ininterruptamente durante toda a semana. Frequentemente, é possível agrupar os serviços (ou seja, as prestações individuais diárias de trabalho) num pequeno conjunto de classes (por exemplo: manhã, tarde e noite) e definir as necessidades de cada tipo para os diferentes dias da semana. Com base nessas necessidades, é estabelecido um esquema global de trabalho que se estende ao longo de um número de semanas igual ao número de trabalhadores utilizados, N . Em cada dia, este

número iguala a quantidade de serviços requeridos acrescida dos descansos concedidos. No início, cada um dos N trabalhadores é afectado a um esquema semanal de trabalho, no fim do qual muda para o seguinte (o esquema 1 sucede ao esquema N). Após N semanas, todos os trabalhadores cumpriram a totalidade dos esquemas semanais.

Para que as condições de trabalho sejam aceitáveis o sequenciamento de serviços diários e de esquemas semanais deve respeitar determinadas regras. Laporte e Nobert (1980) identificaram as seguintes:

- (i) mudanças no tipo de serviço só ocorrem depois de um dia de descanso;
- (ii) o número de dias de trabalho consecutivos deve respeitar limites inferior e superior;
- (iii) o mesmo sucede para o número de dias de descanso consecutivos;
- (iv) os períodos de trabalho e descanso seguidos devem ser proporcionais;
- (v) os esquemas devem conter o maior número possível de fins-de-semana completos de descanso;
- (vi) os fins-de-semana de descanso devem ser distribuídos equilibradamente ao longo do esquema global.

Os mesmos autores propõem um algoritmo, baseado na resolução de um problema de programação linear inteira com uma estrutura muito particular, que permite construir esquemas globais alternativos segundo as regras enunciadas e seleccionar, de entre eles, o mais interessante. Seguidamente, apresenta-se uma descrição sumária do processo adoptado.

Denotem-se por i ($i=1, 2, \dots, 7$) os dias da semana e por j ($j=1, \dots, J$) os tipos de serviços. Considere-se ainda que um descanso é um tipo especial de serviço, representado por $j=J+1$.

Inicialmente, determinam-se as necessidades de serviços do tipo j no dia i , T_{ij} , e distribuem-se os descansos pelos dias da semana, $T_{i,J+1}$, de modo a que:

$$\sum_{j=1}^{J+1} T_{ij} \quad \text{sejam iguais para todos os dias da semana}$$

$$\frac{\sum_{i=1}^7 T_{i,J+1}}{\sum_{i=1}^7 \sum_{j=1}^J T_{ij}} \quad \text{seja não inferior a um valor previamente definido para a razão descanso/trabalho}$$

Define-se um ciclo de trabalho-descanso como um conjunto de dias de trabalho seguidos por um outro conjunto de dias de descanso, começando e acabando em dias determinados da semana. Na figura 6 apresenta-se, a título de exemplo, um destes ciclos:

Sábado	Domingo	Segunda	Terça	Quarta
Trabalho	Trabalho	Trabalho	Descanso	Descanso

Figura 6 - Ciclo de trabalho-descanso.

O passo seguinte do processo de definição de esquemas rotativos corresponde à geração de todos os ciclos de trabalho-descanso que satisfaçam as restrições (i) a (iv) anteriormente referidas. Seja K o número total de ciclos admissíveis. Designando por C_k^j o k -ésimo ciclo em que o serviço é do tipo j (para $k=1, 2, \dots, K$ e $j=1, 2, \dots, J$), o grau de preferência que o mesmo merece traduz-se no peso c_k^j que lhe é atribuído. A selecção do conjunto de ciclos que assegura a realização dos vários tipos de serviços para os diferentes dias da semana, respeitando a distribuição de descansos estabelecida e satisfazendo a regra (v) anteriormente enunciada, decorre da resolução do problema seguinte:

Maximizar

$$\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K c_k^j x_k^j$$

sujeito a

$$\sum_k x_k^j = T_{ij} \quad \text{para } i=1, 2, \dots, 7, j=1, 2, \dots, J \text{ e } k \text{ tal que o ciclo } C_k^j \text{ prevê trabalho no dia } i$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_k x_k^j = T_{i,J+1} \quad \text{para } i=1, 2, \dots, 7 \text{ e } k \text{ tal que o ciclo } C_k^j \text{ prevê descanso no dia } i$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_k x_k^j = \min(T_{6,J+1}, T_{7,J+1}) \quad \text{para } k \text{ tal que o ciclo } C_k^j \text{ prevê descanso no sábado e no domingo}$$

$$x_k^j \geq 0 \text{ e inteiro} \quad \text{para } j=1, 2, \dots, J \text{ e } k=1, 2, \dots, K$$

onde

x_k^j : número de vezes que o ciclo C_k^j é seleccionado

Com base nos ciclos seleccionados, um método de enumeração implícita constrói todos os esquemas globais de trabalho admissíveis justapondo ciclos sucessivos. Caso não exista nenhum esquema global admissível, torna-se necessário adicionar ao problema anteriormente formulado uma nova restrição que elimine a solução óptima corrente. O problema é então resolvido de novo, na expectativa de que conduza a uma solução (isto é, um conjunto de ciclos) que permita formar um esquema global admissível.

Na hipótese de haverem sido obtidos dois ou mais esquemas globais de trabalho admissíveis, a selecção de um entre eles será efectuada tendo em conta características adicionais, como por exemplo, a distribuição dos fins-de-semana de descanso ao longo do esquema (ver regra (vi) anteriormente enunciada).

2.3.3. CRITÉRIO DE UNIFORMIZAÇÃO DAS CARGAS DE TRABALHO

Aos serviços a distribuir diariamente pelas tripulações estão associados graus de esforço distintos. Por esse motivo, alguns acordos sindicais impõem que, ao fim de um certo período de tempo, não muito longo, se verifique uma situação de equilíbrio entre as cargas de trabalho exigidas aos diferentes trabalhadores. Se esse objectivo não for alcançado, os mais penalizados serão abrangidos por um sistema de compensações.

Considere-se o caso simplificado em que o número de serviços a realizar diariamente se mantém constante e é igual ao número de tripulações, cabendo a cada uma delas executar um serviço em cada dia. O problema de afectar os serviços às tripulações num dado horizonte temporal, de modo a que a carga de trabalho total seja uniformemente distribuída, é formulado por Carraresi e Gallo (1984a e 1984b) nos termos que seguidamente se descrevem.

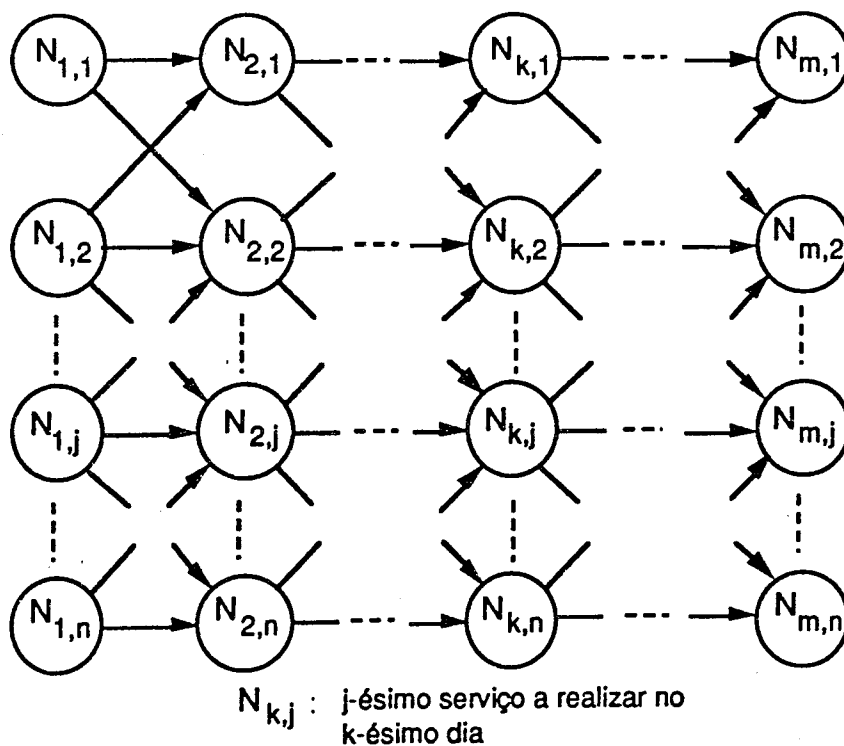


Figura 7 - Grafo representando sequências possíveis dos serviços a realizar nos diferentes dias do horizonte temporal.

Sendo m o número de dias que constituem o horizonte temporal e n o número de serviços diários a assegurar, considere-se o grafo m -partido $(N_1, \dots, N_m, A_1, \dots, A_{m-1})$ representado na figura 7. Cada conjunto de nós N_k (que inclui os nós N_k) representa os serviços a realizar no dia k e cada conjunto A_k (que inclui os arcos A_k , ligando nós N_k e N_{k+1}) representa pares de serviços que podem ser afectados consecutivamente ao mesmo trabalhador. Neste grafo, uma solução admissível do problema é representada por um conjunto de n caminhos disjuntos, cada um deles ligando um nó de N_1 a um nó de N_m . Cada um dos caminhos representa os serviços a realizar por uma tripulação, podendo a carga de trabalho que lhe é exigida ser descrita pela soma dos pesos associados aos nós incluídos no caminho. A solução pretendida é a que inclui os n caminhos cujas cargas de trabalho mais se aproximam entre si e pode ser obtida, por exemplo, pela minimização da carga máxima. Como os arcos desses caminhos que ligam os nós de N_k aos nós de N_{k+1} definem uma afectação no subgrafo bipartido (N_k, N_{k+1}, A_k) , para $k=1, 2, \dots, m-1$, o problema pode ser formulado como uma multi-afectação do tipo "bottleneck":

Minimizar z

sujeito a

$$\sum_{j \in S_k(i)} x_{ij}^k = 1 \quad \text{para } k=1, 2, \dots, m-1 \text{ e } i=1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{i \in P_k(j)} x_{ij}^k = 1 \quad \text{para } k=1, 2, \dots, m-1 \text{ e } j=1, 2, \dots, n$$

$$s_j^1 = w_{1j} \quad \text{para } j=1, 2, \dots, n$$

$$s_j^k = w_{kj} + \sum_{i \in P_{k-1}(j)} s_i^{k-1} x_{ij}^{k-1} \quad \text{para } j=1, 2, \dots, n \text{ e } k=2, 3, \dots, m$$

$$s_j^m \leq z \quad \text{para } j=1, 2, \dots, n$$

$$x_{ij}^k \in (0,1) \quad \text{para } k=1, 2, \dots, m-1 \text{ e } i,j=1, 2, \dots, n$$

onde

$S_k(i)$: conjunto dos serviços que no dia $k+1$ podem ser afectados à tripulação a que no dia k for afectado o serviço i

$P_k(j)$: conjunto dos serviços que no dia k podem ser afectados à tripulação a que no dia $k+1$ for afectado o serviço j

w_{kj} : peso do j -ésimo serviço do dia k

s_j^k : soma dos pesos dos serviços afectados do dia 1 ao dia k , inclusivé, à tripulação a que no dia k for afectado o serviço j

x_{ij}^k :
$$\begin{cases} 1, & \text{se à tripulação a que foi afectado o serviço } i \text{ no dia } k \\ & \text{for afectado o serviço } j \text{ no dia } k+1 \\ 0, & \text{se tal não suceder} \end{cases}$$

Carraresi e Gallo (1984b) provaram que este problema é NP-completo e propuseram um algoritmo que envolve a resolução iterativa de vários problemas de afectação do tipo "bottleneck" para encontrar uma boa solução subóptima, com baixo custo computacional.

Mais tarde os mesmos autores, juntamente com Belletti e Davini (1985), reconhecendo a deficiente aplicabilidade do modelo apresentado, desenvolveram um processo de decomposição que, em particular, possibilita o tratamento das seguintes condições:

- (i) os conjuntos de serviços a assegurar aos sábados, domingos e dias úteis, respectivamente D_s , D_d e D_u , podem ser não coincidentes;
- (ii) cada trabalhador tem direito a q dias de descanso após p dias de trabalho consecutivos.

A figura 8 exemplifica a aplicação do processo desenvolvido, no caso de $p=5$ e $q=1$, para os conjuntos de serviços

$$D_s = \{s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6, s_7, s_8\}$$

$$D_d = \{d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6, d_7\}$$

$$D_u = \{u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6, u_7, u_8, u_9, u_{10}\}$$

Excepto quando $p+q$ é múltiplo de 7, os tipos de combinações diferentes de sábados (s), domingos (d) e dias úteis (u) para os p dias de trabalho consecutivos são em número de sete (figura 8(A)). Cada um dos conjuntos D_s , D_d e D_u é dividido em p subconjuntos, acrescentando-se os serviços fictícios necessários para que todos tenham igual cardinalidade (figura 8(B)). Os subconjuntos D_s^i , D_d^i e D_u^i contêm os serviços a utilizar na i -ésima posição nas combinações. Para gerar o conjunto das combinações do tipo j , Q_j (para $j=1, 2, \dots, 7$), resolve-se um problema de multi-afectação do tipo "bottleneck" sobre os p subconjuntos de serviços correspondentes (figura 8(C)). Os esquemas de trabalho para um período de $p+q$ semanas são obtidos pela resolução de um novo problema de multi-afectação "bottleneck" sobre os sete conjuntos de combinações resultantes (figura 8(D)). Para que todos os serviços de um dia, D_s , D_d ou D_u , sejam assegurados, é afectada uma tripulação a cada uma das semanas de um esquema.

Em relação aos serviços fictícios, refira-se que a sua inclusão nos esquemas de trabalho se traduz na disponibilidade das tripulações a que são atribuídos para substituir tripulações faltosas ou realizar serviços de última hora.

	j \ i	Trabalho					Descanso
		1	2	3	4	5	
Tipos de combinações	1	d	u	u	u	u	(u)
	2	s	d	u	u	u	(u)
	3	u	s	d	u	u	(u)
	4	u	u	s	d	u	(u)
	5	u	u	u	s	d	(u)
	6	u	u	u	u	s	(d)
	7	u	u	u	u	u	(s)

Figura 8(A) - Diferentes tipos de combinações e a ordem pela qual são percorridas por uma mesma tripulação.

$$\begin{aligned}
D_s^1 &= \{s_1, s_2\} & D_s^2 &= \{s_3, s_4\} & D_s^3 &= \{s_5, s_6\} & D_s^4 &= \{s_7, s_8\} & D_s^5 &= \{s_f, s_f\} \\
D_d^1 &= \{d_1, d_2\} & D_d^2 &= \{d_3, d_4\} & D_d^3 &= \{d_5, d_6\} & D_d^4 &= \{d_7, d_f\} & D_d^5 &= \{d_f, d_f\} \\
D_u^1 &= \{u_1, u_2\} & D_u^2 &= \{u_3, u_4\} & D_u^3 &= \{u_5, u_6\} & D_u^4 &= \{u_7, u_8\} & D_u^5 &= \{u_9, u_{10}\}
\end{aligned}$$

s_f, d_f - serviços fictícios

Figura 8(B) - Subconjuntos D_s^i , D_d^i e D_u^i contendo os serviços a utilizar na i -ésima posição nas combinações.

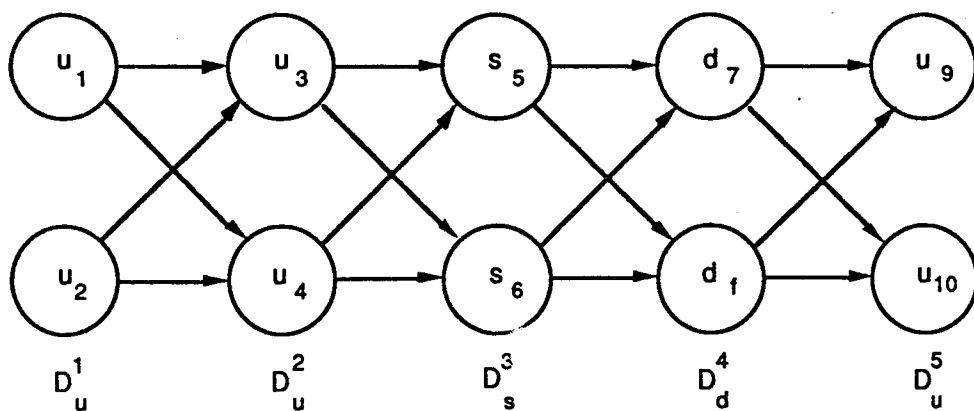


Figura 8(C) - Grafo representando sequências possíveis dos serviços a realizar, para obtenção, por resolução de um problema de multi-afecção "bottleneck", das duas combinações do tipo 4 (Q_{41} e Q_{42}).

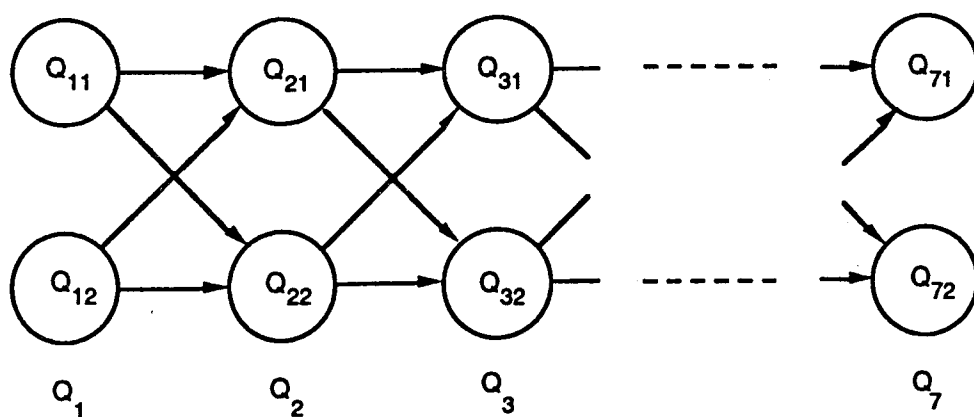


Figura 8(D) - Grafo representando sequências possíveis das combinações de serviços a realizar, para obtenção, por resolução de um problema de multi-afecção "bottleneck", dos dois esquemas de trabalho para um período de seis semanas.

Figura 8 - Exemplificação da aplicação do processo desenvolvido, no caso de $p=5$ e $q=1$.

2.3.4. OUTRAS FORMULAÇÕES

As formulações apresentadas interpretam de forma diferente o problema do escalamento de tripulações, propondo critérios de decisão distintos:

- (i) determinação do modo mais económico de assegurar as necessidades de tripulação das viaturas;
- (ii) elaboração de um plano de trabalho a executar em regime rotativo por todas as tripulações que seja do maior agrado possível;
- (iii) construção de esquemas individuais de trabalho que, para um dado horizonte temporal, incluam os serviços a realizar exigindo níveis de esforço semelhantes.

Deve observar-se que, dependendo das características próprias de cada sistema de transportes e da criatividade do modelador, é possível adoptar formulações distintas das anteriormente mencionadas, mesmo que os critérios de decisão sejam os mesmos. Os trabalhos desenvolvidos por Townsend (1986) e Hagberg (1985) constituem disso bons exemplos.

Townsend, que adoptou o critério (ii), trata o problema de escalamento com base no conceito de blocos de trabalho e formula-o como um problema tridimensional de afectação. Para o resolver, este autor propõe dois métodos. O primeiro constitui um método de resolução exacto de um problema de afectação bidimensional, mas a sua dimensão considerável e a elevada percentagem de arcos de custo infinito (ligações impossíveis) sugeriram ao autor um procedimento heurístico alternativo. Este, que é o segundo dos métodos propostos, baseia-se na resolução de dois problemas de afectação de muito menor dimensão.

Por seu turno, Hagberg observa que o grau de satisfação que um determinado plano de trabalho motiva em quem o executa depende de quatro características fundamentais: o número de dias de descanso concedidos, a quantidade de serviços nocturnos incluídos, o tempo total de serviço associado e a semelhança entre os tempos de início de serviços consecutivos.

Garantindo que, no fim do período de planeamento, todas as tripulações tenham usufruído do mesmo número de dias de descanso, é construída uma solução inicial através de uma atribuição não criteriosa dos serviços a realizar em cada dia às tripulações que não descansam nesse dia. A melhoria da solução é obtida por um procedimento iterativo em que cada iteração consiste na resolução de um problema de afectação de custo mínimo. O processo termina quando, entre duas iterações sucessivas, não for possível reduzir o valor da função objectivo.

2.3.5. EXTENSÕES DO PROBLEMA DE ESCALAMENTO

A grande maioria dos modelos desenvolvidos para o problema de escalamento resultaram da necessidade de dar resposta a solicitações reais. No entanto, para além da dificuldade da sua adaptação a novas situações, resolvem apenas alguns dos problemas que são da competência dos responsáveis pelo escalamento. Esses problemas, que do ponto de vista matemático são os mais estimulantes, não são os que absorvem mais tempo nem sequer os que têm maiores repercussões financeiras. A posterior integração dos modelos mais prometedores em trabalhos de maior âmbito, que tratam também das restantes tarefas, foi ditada pelo propósito natural de os tornar mais úteis e de os comercializar.

No sistema concebido por Jachnik (1981) para a empresa de transportes urbanos de Roma, as escalas são elaboradas segundo um processo envolvendo duas etapas. Uma versão provisória da escala é criada e divulgada uma semana antes do dia a que se refere. Esta versão é elaborada com base na lista dos serviços a assegurar e na lista do pessoal tripulante que, em princípio, estará disponível. Nos dias seguintes ao da afixação da escala provisória surgem alterações na situação de alguns tripulantes, são apresentados por alguns deles pedidos de trocas em relação aos serviços que lhes foram destinados e conhecem-se as opiniões dos chefes das várias estações. Analisados os novos dados, a versão definitiva da escala é elaborada e afixada na véspera do dia a que ela se refere. Neste dia, os desvios verificados relativamente à afectação prevista são registados de modo a que no final se proceda à actualização das estatísticas e à elaboração de um relatório que facilite a detecção de irregularidades e permita efectuar os pagamentos.

Também Schmidt e Fennessy (1981) e Wallis (1985) descrevem módulos implementados em diversas companhias de transportes norte-americanas dedicados ao tratamento das alterações de última hora introduzidas na programação do trabalho e ao registo diário dos desvios com vista ao processamento posterior dos salários.

A compilação da informação respeitante às tarefas executadas diariamente e a respectiva caracterização estatística permitem efectuar previsões que ajudam a reduzir a incerteza associada ao processo de planeamento. O desenvolvimento de modelos capazes de auxiliar os decisores na escolha das linhas de acção mais apropriadas face a cenários alternativos, representa uma das necessidades mais sentidas por aqueles decisores. Para os transportes de Paris, Garnier (1985) refere o modelo MERCATOR, criado com o objectivo de apoiar os responsáveis da empresa nas negociações travadas com os representantes dos trabalhadores sobre dias de descanso, férias anuais e duração média dos dias de trabalho.

Belletti et al. (1985), referindo-se ao sistema BDROP, que desenvolveram para a Companhia de Transportes de Florença, enunciam as características que desejavelmente devem possuir os sistemas para escalamento automático de tripulações. Devem integrar-se em sistemas de informação para a gestão do pessoal, sendo-lhes atribuídas as funções específicas de elaborar e actualizar a distribuição diária dos serviços, decidir dia a dia sobre a substituição de tripulações e sobre o recurso a serviços extraordinários, manter e actualizar a informação necessária à determinação das concessões mensais a cada tripulante e, por último, efectuar a análise estatística de todo o processo.

3. O ESCALAMENTO DO PESSOAL TRIPULANTE NO STCP

3.1. BREVE CARACTERIZAÇÃO DO STCP

O Serviço de Transportes Colectivos do Porto (STCP) opera na zona do Grande Porto, servindo uma população de cerca de um milhão de habitantes. O regime de exclusividade que detém para a área urbana justifica os 300 milhões de passageiros por ano. Nas 60 linhas existentes, perfazendo um comprimento total próximo dos 700 kms, movimentam-se 519 autocarros, 123 troleicarros e 53 carros eléctricos, que percorrem em média 65 mil kms por ano cada um. As estações onde essas viaturas recolhem são em número de 5, das quais uma se destina a troleicarros e outra a carros eléctricos.

Das 3844 pessoas que o STCP emprega, 1589 integram os Serviços de Exploração, pertencendo 9 à Secção de Escalamento, encarregada de planear a actividade dos 1307 tripulantes (1071 motoristas, 176 cobradores e 60 guarda-freios). O número de serviços diários que estes asseguram varia consoante o dia da semana e a época do ano, oscilando os serviços de motorista entre os 912 e os 964, os de cobrador entre os 147 e os 163 e mantendo-se os de guarda-freio em 59.

Na tentativa de corresponder ao crescimento contínuo da procura de transporte, o STCP tem procedido à aquisição de novos equipamentos e à contratação de mais pessoal. As próprias instalações do STCP têm vindo a ser ampliadas, prevendo-se no curto prazo a abertura de uma importante estação de recolha. Os números apresentados têm assim uma validade temporal reduzida.

3.2. DESCRIÇÃO DO ACTUAL SISTEMA DE ESCALAMENTO

3.2.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

A Secção de Escalamento do STCP é coordenada pelo chefe de secção que recebe a colaboração de 2 subchefes e 6 subordinados, na sua maioria antigos cobradores ou expedidores da empresa. Na prática, só o chefe conhece integralmente os procedimentos adoptados, limitando-se os restantes elementos a um trabalho de rotina que consiste na repetição manual de tarefas que lhes são atribuídas pelo primeiro. As justificações que este fornece para o

modo como resolve os problemas são fundamentalmente de dois tipos. Uma resume-se no "sempre foi assim", que contém uma referência implícita ao chefe anterior, enquanto que a outra assenta no facto de no passado ter sido necessário resolver problemas específicos de que resultou o aparecimento de regras que desde então se mantêm.

Por esse motivo, o sistema em uso para o escalamento do pessoal tripulante assume-se como um conjunto de regras "indiscutíveis", algumas das quais deixaram eventualmente de ser razoáveis, e que têm o objectivo de resolver com a máxima clareza e a mínima polémica todas as questões. As situações não previstas conduzem à introdução de novas regras, nem sempre definidas com preocupações explícitas de integração no conjunto global.

Certos assuntos, como por exemplo as concessões relativas aos pedidos apresentados pelos tripulantes e o saneamento de conflitos gerados entre estes e a Secção de Escalamento, exigem o envolvimento dos membros da Direcção dos Serviços de Exploração de quem a Secção de Escalamento depende. Contudo, as regras em que o escalamento se apoia são em número de tal modo elevado que a participação daqueles membros se faz a um nível relativamente superficial, não os convidando a uma indispensável actuação crítica.

A experiência bem sucedida de utilização da informática noutras áreas do interesse dos Serviços de Exploração, em particular na geração dos serviços das tripulações, reforçou a vontade de a estender às tarefas de escalamento. Um incentivo adicional adveio da constatação de que a complexidade progressiva dessas tarefas virá a dificultar a substituição do chefe de secção por um dos seus colaboradores. A expectativa de que um sistema automático, para além de mais rápido e seguro, pudesse ser responsabilizado pelas injustiças inerentes às regras utilizadas (ou a quaisquer outras), completava o quadro de motivações.

A criação de um sistema automático para o escalamento das tripulações obrigou a numerosas reuniões com os responsáveis por esse sector, a fim de se conseguir identificar a lógica dos procedimentos usados. Tais contactos revelaram a esperança existente de que o novo sistema constitísse um instrumento de grande utilidade, mas mostraram também uma evidente

desconfiança sobre as suas aptidões para a resolução cabal do problema, bem como algum receio quanto à possibilidade de se tornar incontrolável.

A caracterização sistemática dos procedimentos de escalamento seguiu um processo iterativo de convergência demorada, já que o problema era demasiado vasto e intrincado para que alguém o pudesse explicar completamente de uma única vez. O modo como decorreram as reuniões iniciais sugeriu a metodologia a usar nas seguintes: submeter à aprovação resumos das principais ideias debatidas nas reuniões anteriores, permitindo a introdução sucessiva de correcções, e avançar na discussão do problema através de um conjunto de perguntas directas previamente preparadas. Apesar das validações que a aprovação dos resumos implicava, foram frequentes as situações em que se verificaram incoerências e omissões, posteriormente ultrapassadas.

3.2.2. AS ESCALAS

O trabalho a efectuar pelo pessoal tripulante do STCP é programado numa base diária pela Secção de Escalamento, com recurso à elaboração de três documentos, as escalas:

- (i) Escala Geral, que inclui todos os serviços de transporte de carácter regular;
- (ii) Escala de Extraordinários, que inclui os serviços de transporte que devido ao seu carácter temporário e excepcional são designados de especiais;
- (iii) Escala de Diversos, que inclui os serviços auxiliares (por exemplo, venda de bilhetes) a executar por pessoal tripulante afastado dos serviços de transporte.

Cada uma das escalas consta de uma lista de serviços, em relação aos quais se define quem são os tripulantes previstos para os realizar. A afectação dos tripulantes aos serviços tem em consideração as características de ambos, podendo os tripulantes apresentar pedidos no sentido de melhorar o seu

posicionamento na escala ou de não lhes ser atribuído trabalho em determinado dia.

3.2.3. CARACTERÍSTICAS DOS SERVIÇOS DE TRANSPORTE

As características dos serviços de transporte relevantes para o escalamento são as seguintes:

- número do serviço
- dias em que se realiza (dias úteis, sábados, domingos/feriados)
- hora de início, hora de fim, duração efectiva, duração do intervalo (estas características variam consoante o serviço se realiza num dia útil, num sábado ou num domingo/feriado)
- linha a que pertence
- tipo de viatura envolvida
- tripulação requerida (agente único, condutor+cobrador)
- nível de prioridade de execução (mínima, normal, máxima)
- estação a que está associado
- tipo de serviço:

normal:

serviço contínuo ou em duas etapas com intervalo máximo de 2 horas

fora das regras:

serviço em duas etapas com intervalo mínimo de 2 horas e máximo de 7 horas

fora das regras especial:	serviço em duas etapas com intervalo mínimo de 7 horas
nocturno:	serviço contínuo terminando depois das 23 horas
ordens:	disponibilidade de uma tripulação para assegurar qualquer serviço cuja realização se revele necessária a um expedidor
manobras:	ordens em que as tripulações são encarregadas de manobrar as viaturas dentro de uma estação

3.2.4. CARACTERÍSTICAS DO PESSOAL TRIPULANTE

A informação sobre o pessoal tripulante que interessa para o escalamento pode ser dividida em três classes:

(i) Características gerais:

- número de matrícula geral
- categoria (motorista, guarda-freio, cobrador)
- escala a que pertence (geral/extraordinários, diversos)
- situação na escala:

pessoal encaixado:	possui uma situação definida na escala, conhecendo antecipadamente o serviço a realizar (sempre
--------------------	---

o mesmo ou pertencendo a um grupo de serviços a serem assegurados em regime rotativo)

peçoal firme: substitui temporariamente peçoal encaixado não disponível

peçoal supra: muda diariamente de serviço, substituindo peçoal encaixado e firme que se encontre ausente, de acordo com as conveniências

- data de aniversário

- grupo de férias: em função do grupo de férias em que cada tripulante se integra (designado por um número compreendido entre 1 e 24), é fixada ciclicamente a quinzena em que gozará metade das suas férias anuais (num ano a quinzena pertence à época de Inverno, no ano seguinte pertence à época de Verão; dois anos depois será a quinzena seguinte àquela em que gozou as férias iniciais e assim sucessivamente, num ciclo que dura 24 anos)

- grupo de descanso: sendo obrigatório que de sete em sete semanas o dia de descanso semanal coincida com um domingo, o peçoal divide-se em sete grupos, numerados de 1 a 7, cabendo aos elementos de cada um deles descansar num domingo diferente (o peçoal que pertence ao grupo n , para $n > 1$, descansa no

domingo seguinte àquele em que descansa o pessoal incluído no grupo n-1; a mesma relação verifica-se igualmente entre o pessoal dos grupos 1 e 7, respectivamente)

- tipo de descanso: entre dois domingos de descanso obrigatório, a distribuição dos seis descansos intermédios satisfaz uma das seguintes condições:
 - o tripulante descansa sempre ao domingo
 - o tripulante descansa sempre ao sábado
 - o tripulante começa por descansar na primeira segunda-feira, passando depois a descansar após cada sete dias de trabalho
 - entre cada segunda-feira e o domingo seguinte, o tripulante descansa num dia que sirva os interesses do escalamento e, se possível, respeite a preferência por si manifestada
- supressão de descanso: o tripulante pode consentir que lhe seja suprimido o descanso ao domingo
- dispensa nos feriados: o tripulante pode exprimir o desejo de ser dispensado nos dias feriados
- práticas adquiridas: tipos de viaturas que está habilitado a conduzir
- prática de agente único ou não

- limitações: em circunstâncias específicas e no uso dos seus direitos, o tripulante pode apresentar limitações respeitantes às características do serviço a realizar
 - antiguidade como tripulante
 - antiguidade na categoria específica em que se encontra
 - antiguidade como pessoal firme
 - antiguidade na prática de autocarros de 1 piso
 - antiguidade na prática de autocarros de 2 pisos
 - antiguidade na prática de troleicarros
- (ii) Informação diária:
- situações de impedimento (como resultado de férias, licença, dispensa, descanso, formação, suspensão, doença)
 - hora de início mais cedo e hora de fim mais tarde para o trabalho de cada dia (como resultado das características do serviço realizado no dia anterior e do serviço a realizar no dia seguinte)
 - afectação prévia a um determinado serviço (efectuado ao abrigo de uma concessão)
- (iii) Dados estatísticos (para cada tripulante e durante cada ano):
- número de dias de trabalho
 - número de descansos suprimidos
 - número de dispensas impostas

- número de dias de férias gozados

3.2.5. OS PEDIDOS

Os pedidos apresentados pelos tripulantes versam os seguintes aspectos:

- estação a que estão associados os serviços que realizam
- linha a que pertencem esses serviços
- mudança de situação (encaixado, firme, supra)
- substituição de motoristas em serviços de manobras
- tipo de descanso
- dia da semana preferido para o descanso
- marcação dos dias de férias, para além da quinzena fixada ciclicamente
- obtenção de licenças
- alteração do serviço a realizar

3.2.6. ELABORAÇÃO MANUAL DA ESCALA

No STCP, a designação genérica de "escalamento" abrange um vasto conjunto de actividades que no seu todo asseguram as funções que habitualmente são da competência de um departamento de gestão de pessoal. O esquema da figura 9 descreve globalmente essas actividades, que são apresentadas na sua sequência lógica, dando particular destaque ao papel central que a escala desempenha em todo o processo.

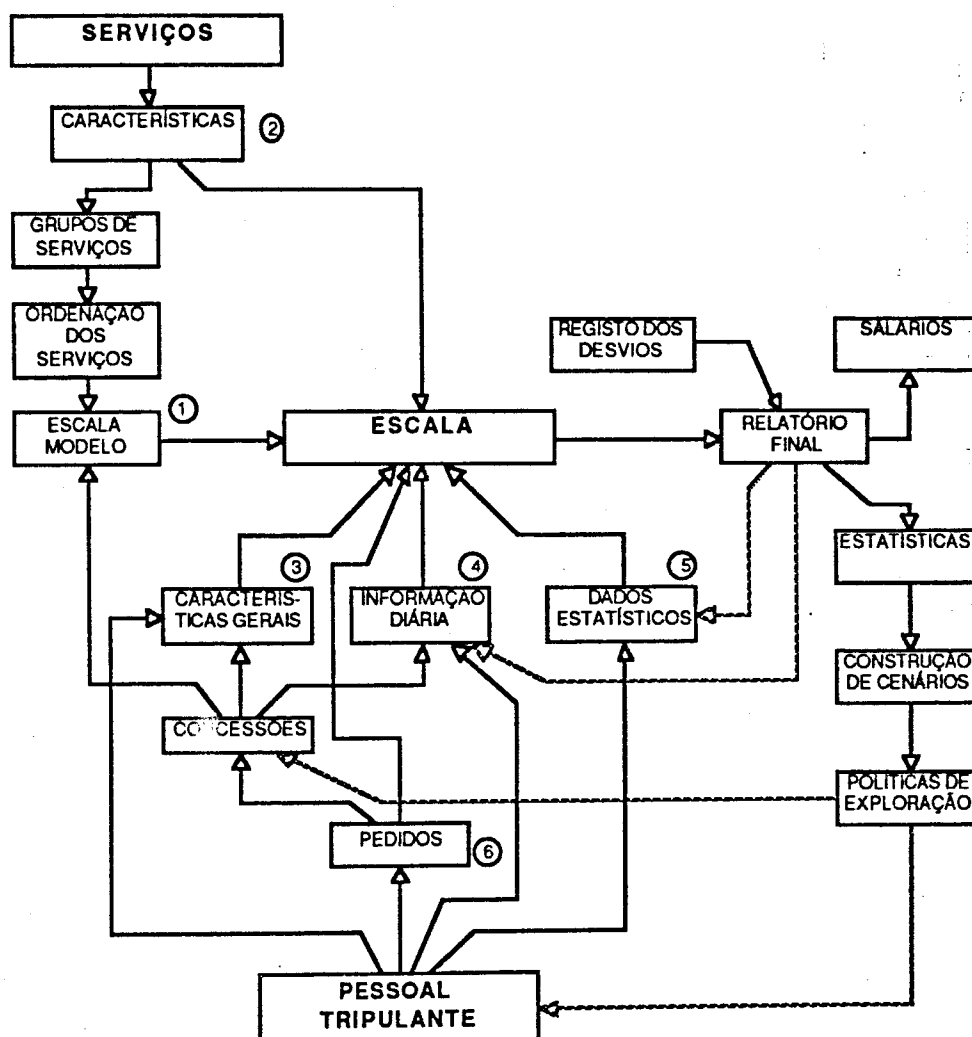


Figura 9 - O papel central da escala na gestão do pessoal tripulante.

As frequentes mudanças de estado das diversas entidades envolvidas e o intrincado relacionamento que mantêm entre si, torna a manutenção e operação diária do sistema numa questão complicada que exige um esforço intenso e continuado. Seguidamente será descrita em pormenor a sequência de operações que conduzem à definição da escala. Este processo está sintetizado na figura 10 (os números dentro dos círculos estabelecem a ligação ao esquema da figura 9).

A Secção de Movimento define à Secção de Escalamento grupos de serviços a atribuir às tripulações. Dentro de cada grupo, os serviços são do mesmo tipo, estão associados a uma estação comum e, na maioria dos casos,

pertencem à mesma linha. Mantendo a sequência pela qual os serviços estão ordenados dentro de cada grupo, a Secção de Escalamento dispõe os grupos de modo a juntar os que pertencem à mesma linha e, a um nível superior, reunir as linhas associadas a cada estação. Daí resulta uma Escala Geral modelo onde é também estabelecido para os vários serviços quais os tripulantes que, na qualidade de encaixados, lhes ficam afectos. Com o objectivo de uniformizar as condições de trabalho desses tripulantes, dada a dificuldade de gerar serviços com características semelhantes, os serviços de alguns dos grupos destinam-se a ser assegurados em regime rotativo pelos conjuntos de tripulantes que lhes estão afectos, podendo a rotação ser diária ou semanal.

A inclusão de serviços excepcionais cuja existência é temporária na Escala Geral, implicaria a sua reorganização diária e inviabilizaria a utilização de uma escala modelo. A diminuição de eficiência que uma tal opção acarretaria nos procedimentos manuais usados justifica a reunião desses serviços num outro documento, a Escala de Extraordinários.

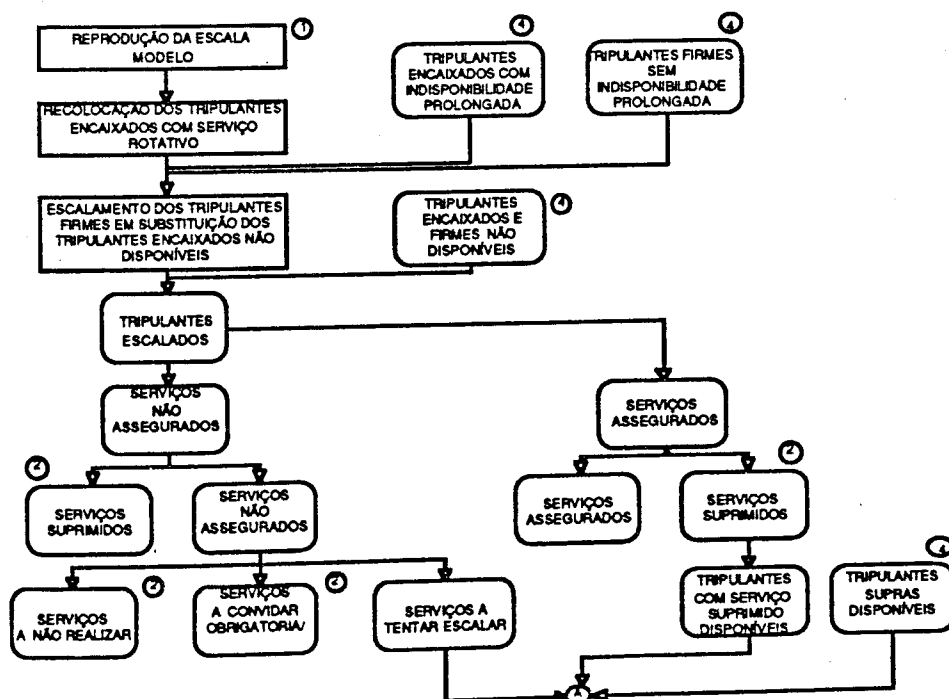


Figura 10 - O processo de elaboração da escala.



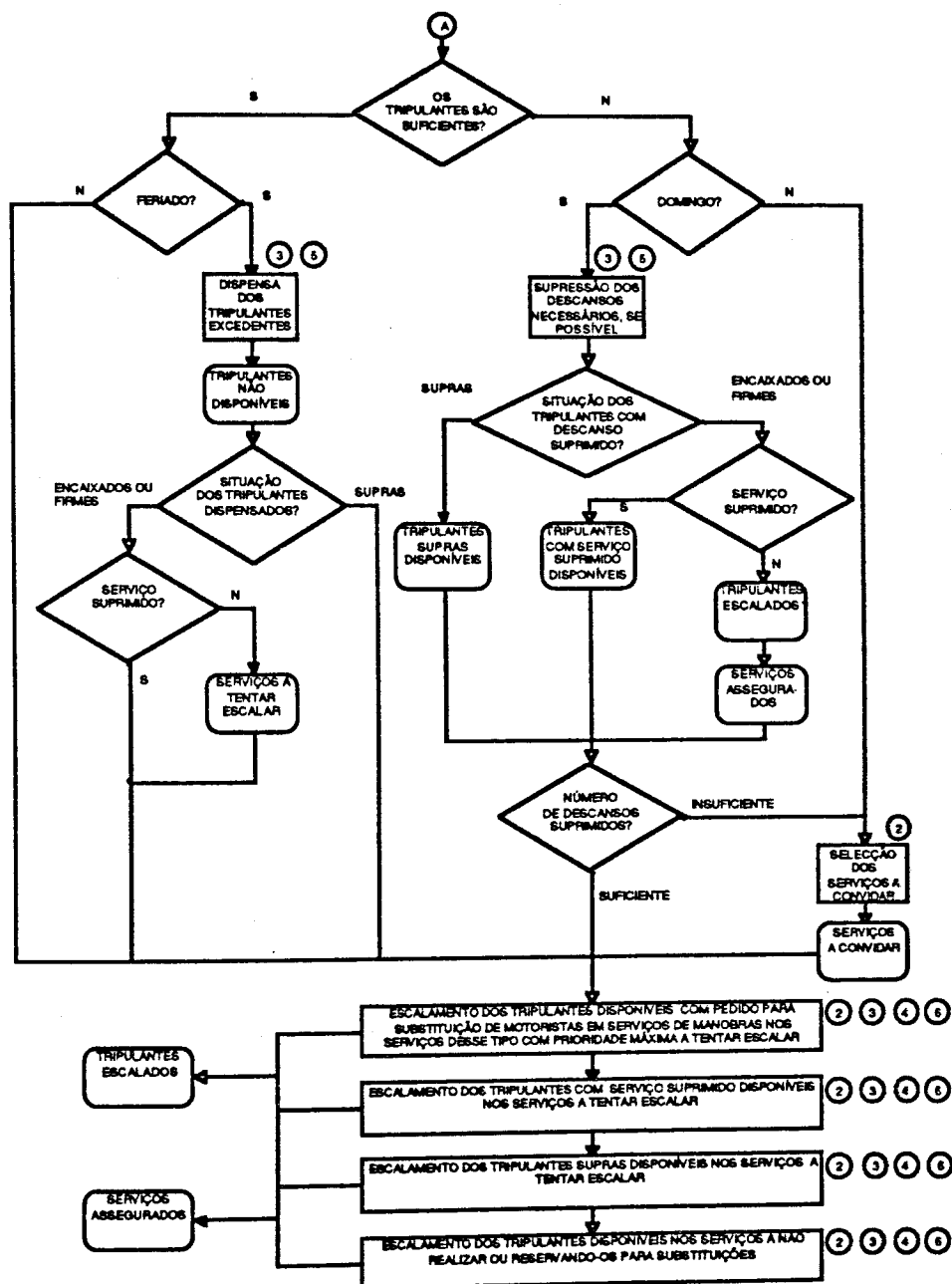


Figura 10 (continuação).

A elaboração manual da Escala Geral é um processo demorado que, quinze dias antes da data a que diz respeito, se inicia com a reprodução da escala modelo e com a recolocação dos tripulantes encaixados com serviço rotativo. Durante o período de oito dias que se sucede, é confirmada a continuação das situações de indisponibilidade prolongada de alguns deles e são assinalados os novos impedimentos, após o que se procede ao escalamento de tripulantes firmes em sua substituição. Desses tripulantes, alguns transitam das escalas de dias anteriores (os que continuam a ser

necessários e não sofrem de indisponibilidade prolongada), havendo que seleccionar e colocar na escala os restantes.

Na última semana são conhecidos os impedimentos pontuais que não permitem a tripulantes encaixados e firmes assegurar os serviços que lhes estavam previamente destinados. Dos serviços não assegurados, os classificados com prioridade mínima não se realizam. Em relação a outros, pelas características que possuem, não é possível impô-los a qualquer tripulante, pelo que serão eventualmente efectuados em regime de trabalho extraordinário não coberto pela escala (serviços "a convidar"). Para realizar os restantes serviços (serviços "a tentar escalar") a Secção de Escalamento dispõe de tripulantes supras, a que se juntam, nos sábados, domingos e feriados, os tripulantes encaixados e firmes cujos serviços foram suprimidos (a supressão destes serviços ocorre pelo facto de que a procura de transporte naqueles dias é menor).

Se o número de tripulantes suprimidos e supras disponíveis ultrapassar as necessidades, os excedentes são escalados nos serviços com prioridade mínima não assegurados ou, em alternativa, postos à disposição dos chefes das estações para substituições de última hora. Isso só não acontece se o dia em causa for feriado. Embora a empresa tenha o direito de exigir dos seus funcionários que trabalhem nesses dias, deve compensá-los com um acréscimo de vencimento, razão pela qual está interessada em dispensar os que não forem estritamente necessários. Quando os tripulantes que exprimem o desejo de serem dispensados nos dias feriados são em número excessivo seleccionam-se para trabalhar aqueles que, até ao momento e para o corrente ano, apresentam um valor mais elevado do "ratio" nº de dispensas/nº de dias trabalhados. Se for preciso dispensar tripulantes que não preferem a dispensa, serão escolhidos para trabalhar, de entre eles, os que apresentam também um valor mais elevado para o mesmo "ratio".

No caso de o número de tripulantes suprimidos e supras ser inferior à quantidade de serviços "a tentar escalar" admite-se que existirão mais serviços "a convidar". A sua distribuição por estações e linhas deverá ser equilibrada, não abrangendo os serviços que envolvem viaturas que poucos tripulantes estão habilitados a conduzir nem os serviços com prioridade máxima. No entanto, se o dia em causa for um domingo o recurso ao trabalho em regime

extraordinário é problemático e os serviços "a convidar" tornam-se indesejáveis do ponto de vista da empresa. Com o objectivo de os evitar e desde que os tripulantes expressem o seu consentimento, são-lhes suprimidos os descansos e aumentados os vencimentos. Quando o número de candidatos à supressão do descanso é superior às necessidades, excluem-se aqueles que, até ao momento e para o corrente ano, detêm um valor mais elevado do "ratio" nº de descansos suprimidos/nº de dias trabalhados. Os tripulantes com a situação de encaixados ou firmes com supressão de descanso são escalados nos seus serviços, se estes não estão suprimidos.

Os serviços do tipo manobras com prioridade máxima, cujos tripulantes encaixados ou firmes respectivos estão impedidos de os realizar, são assegurados por tripulantes com pedido para substituição de motoristas em serviços de manobras. A sua colocação nesses serviços segue o sentido decrescente da antiguidade na apresentação dos pedidos.

Os serviços a atribuir aos tripulantes com serviço suprimido ainda não escalados, dependem da hora de início, duração do intervalo, linha e estação de recolha dos serviços que lhes estavam destinados. O seu escalamento contempla as posições que tripulantes suprimidos e serviços "a tentar escalar" ocupam na escala, e é feito de um modo sequencial por aplicação de um vasto conjunto de regras. Estas definem claramente qual o serviço a que cada tripulante tem direito, traduzindo as preferências manifestadas e as prioridades no seu atendimento.

No que se refere aos tripulantes supras o seu escalamento é feito estação a estação. Para cada uma, a ordem pela qual são escalados os tripulantes com pedido para essa estação respeita o sentido decrescente da antiguidade desse pedido. Cada tripulante, quando está na sua vez, é colocado no serviço "a tentar escalar" não assegurado que aparece em primeiro lugar na escala. O tripulante só é mudado para outro serviço, dessa ou de outra estação, se uma tal alteração for indispensável para assegurar esse serviço. Em caso de mudança de estação são deslocados os tripulantes mais recentes na prática exigida, sendo privilegiadas as trocas entre duas estações próximas uma da outra. No final desta fase, os serviços "a tentar escalar" ainda não assegurados são atribuídos aos tripulantes supras ainda por escalar.

Em todo este processo de atribuição dos serviços a assegurar aos tripulantes disponíveis, as características de uns e de outros têm que ser compatíveis, isto é:

- (i) o serviço atribuído a um tripulante tem que estar incluído na escala a que este pertence;
- (ii) a categoria do tripulante tem que corresponder àquela própria do serviço e, se se tratar de um motorista, as práticas por ele adquiridas têm que estar de acordo com as exigências do serviço;
- (iii) quaisquer limitações do tripulante, a existirem, não podem colidir com as características do serviço;
- (iv) a hora de início de um serviço deve permitir ao tripulante um intervalo mínimo de oito horas relativamente à hora de fim do serviço realizado no dia anterior;
- (v) o serviço não pode terminar depois das 24 horas se, para o tripulante, o dia seguinte for de férias, licença, dispensa ou descanso; a sua hora de fim deve permitir ao tripulante um intervalo mínimo de oito horas relativamente à hora de início do serviço a realizar no dia seguinte.

Com o objectivo de se conseguir um melhor aproveitamento dos tripulantes disponíveis podem ser efectuadas trocas entre serviços "a tentar escalar" e serviços "a convidar".

Durante o período de tempo em que uma escala está a ser trabalhada, a Secção de Escalamento recebe informação sobre as alterações que se vão verificando. As mais significativas, tanto pela frequência com que surgem como pelas repercussões na escala, são as relativas ao estado de disponibilidade/indisponibilidade dos tripulantes. As modificações que tais alterações obrigam a introduzir na versão provisória da escala podem ser profundas e morosas se encontram o trabalho numa fase adiantada e envolvem tripulantes encaixados ou mesmo firmes. Na prática, o intervalo de tempo que medeia entre a chegada da nova informação e o momento de dar por

concluída a escala nem sempre permite refazê-la com vista ao cumprimento do sistema de prioridades que as regras para o escalamento têm implícito.

A escala deve ser afixada na manhã da antevéspera do dia a que diz respeito, dando a conhecer aos tripulantes os respectivos serviços e informando os chefes das estações sobre quem realiza os serviços assegurados e quais os serviços "a convidar". Daí em diante, as modificações devidas a situações não previstas são efectuadas nas próprias estações e os desvios são registados, de modo a serem utilizados no cálculo dos salários e na actualização dos dados estatísticos. A escala é depois arquivada, procedendo-se à sua consulta sempre que necessário. Na figura 11 apresenta-se parte de uma escala elaborada manualmente.

ESCALA DE SERVIÇO											
AGENTE ÚNICO											
PARA 21.12.1983											
21.12.1983											
NR. DE SERVIÇO	NOTURNO	DESA SERVIÇO	SERVIÇO ADCT.	NR. DE SERVIÇO	NOTURNO	DESA SERVIÇO	SERVIÇO ADCT.	NR. DE SERVIÇO	NOTURNO	DESA SERVIÇO	SERVIÇO ADCT.
666	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
667	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
668	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
669	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
670	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
671	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
672	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
673	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
674	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
675	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
676	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
677	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
678	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
679	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
680	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
681	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
682	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
683	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
684	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
685	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
686	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
687	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
688	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
689	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
690	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
691	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
692	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
693	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
694	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
695	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
696	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
697	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
698	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
699	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
700	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
701	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
702	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
703	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
704	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
705	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
706	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
707	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
708	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
709	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
710	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
711	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
712	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
713	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
714	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
715	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
716	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
717	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
718	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
719	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
720	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
721	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
722	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
723	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
724	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
725	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
726	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
727	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
728	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
729	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
730	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
731	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
732	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
733	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
734	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
735	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
736	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
737	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
738	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
739	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
740	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
741	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
742	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
743	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
744	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
745	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
746	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
747	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
748	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
749	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
750	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
751	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
752	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
753	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
754	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
755	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
756	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
757	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
758	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
759	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
760	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
761	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
762	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
763	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
764	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
765	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
766	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
767	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
768	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
769	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
770	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
771	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
772	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
773	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
774	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
775	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
776	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
777	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
778	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
779	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
780	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A
781	21	100	21A	211	21	100	21A	211	21	100	21A

3.3. PRINCIPAIS PROBLEMAS A RESOLVER

À execução das várias tarefas que conduzem à elaboração da escala associam-se graus de dificuldade diferentes. Nos pontos seguintes são explicadas as razões pelas quais três dessas tarefas colocam problemas de decisão complexos que são passíveis de tratamento automático.

3.3.1. A ORDENAÇÃO DOS SERVIÇOS

A geração de um conjunto de serviços assenta na definição prévia dos horários a cumprir pelas viaturas que operam numa determinada linha ou conjunto de linhas afins. Por esse motivo, os serviços formados possuem desde logo algumas características comuns, casos da estação de recolha a que estão associados e das linhas a que pertencem. Posteriormente, são distribuídos por grupos ainda mais homogéneos, em que os serviços são todos do mesmo tipo.

A ordem pela qual os serviços se dispõem dentro de cada grupo não pode ser arbitrária quando os tripulantes encaixados ou firmes que lhes estão afectos os asseguram em regime rotativo (como se ilustra na figura 12).

Serviços	Tripulações		Serviços	Tripulações
1	A	→	1	D
2	B		2	A
3	C		3	B
4	D		4	C
Dia N			Dia N+1	

Figura 12 - Exemplo de uma rotação diária de serviço.

Uma vez que, para cada tripulante, os serviços realizados em dias seguidos têm que ser separados por um intervalo mínimo de oito horas, a ordenação dos serviços de um grupo pode originar um problema para o qual não é imediato encontrar-se uma boa solução. A reduzida atenção que lhe é dispensada no STCP deve-se ao facto de a sua resolução ser considerada simples, o que se justifica face aos contornos actuais do problema:

- (i) o número de serviços que integra cada grupo é pouco significativo, situando-se normalmente abaixo de 40;

- (ii) a homogeneidade dos grupos, no que se refere ao tipo dos serviços que incluem, é responsável pelo pequeno número de incompatibilidades verificadas entre serviços do mesmo grupo;
- (iii) qualquer solução admissível é aceite.

Contudo, a informatização do sistema pareceu o momento apropriado para averiguar da possibilidade de satisfazer o desejo manifestado pelos tripulantes no sentido de que a variação entre as amplitudes dos intervalos de descanso fosse minimizada. Esta nova versão do problema, em que a obtenção de uma solução admissível é substituída pela procura da solução óptima, de resolução mais difícil, seria acompanhada da transmissão da responsabilidade de ordenação dos serviços da Secção de Movimento para a de Escalamento.

3.3.2. O ESCALAMENTO DOS TRIPULANTES SEM SERVIÇO FIXO

O trabalho de escalar os tripulantes resume-se basicamente a duas grandes etapas. A primeira, de execução trivial, consiste no escalamento directo de tripulantes encaixados e firmes nos serviços que lhes estão destinados, e que por isso podem ser designados de fixos. A outra, mais delicada, consta da atribuição de serviços "a tentar escalar" a tripulantes que não têm serviços fixos ou a quem estes foram suprimidos.

Nesta segunda etapa, a selecção do serviço que a cada tripulante cabe realizar depende de vários factores:

- (i) preferências manifestadas pelos tripulantes em relação às características dos diferentes serviços;
- (ii) prioridades na satisfação das preferências expressas pelos diferentes tripulantes;
- (iii) compatibilidades entre as características dos tripulantes e as dos serviços.

Resumidamente, pode afirmar-se que cada tripulante é escalado no serviço que mais deseja desde que, por um lado, não haja necessidade de recorrer a este para satisfazer um outro tripulante que a ele tenha acesso prioritário, nem, por outro lado, as características do tripulante sejam imprescindíveis à realização de um outro serviço.

O conjunto de regras em que se apoia o procedimento actual resolve o problema fornecendo uma justificação clara para a colocação de cada tripulante. No entanto, para além de ser bastante pesado, o que impede o seu total cumprimento quando surgem alterações de última hora, não cobre todas as situações possíveis. Por exemplo, em relação ao escalamento dos tripulantes com serviços suprimidos não se procede à reserva daqueles que poderão ser necessários para assegurar serviços mais exigentes. Tal acontece porque normalmente alguns dos tripulantes supras, a ser escalados posteriormente, possuem habilitações suficientes para realizar esses serviços. Contudo, isso pode não se verificar.

Um modo alternativo de encarar o problema de escalamento dos tripulantes sem serviço fixo consiste em admitir como objectivo a minimização do desagrado global provocado pela distribuição de serviços a efectuar. Porém, o desrespeito pelo sistema de prioridades em vigor poderá não ser bem aceite pelos tripulantes que actualmente detêm mais privilégios. Esta dificuldade poderá ser ultrapassada através da imposição de um conjunto de restrições a ter em conta na satisfação do objectivo acima enunciado.

3.3.3. A DEFINIÇÃO DE POLÍTICAS DE EXPLORAÇÃO

A análise da informação histórica relativa à realização dos serviços pelo pessoal tripulante deve orientar o estabelecimento de uma política global de gestão deste pessoal.

Tal política contempla decisões que incidem sobre aspectos tão diferentes como os que seguidamente se enunciam:

- (i) a admissão de pessoal (que é largamente influenciada pela verba dispendida com o trabalho em regime extraordinário para assegurar a realização de serviços "a convidar");
- (ii) a formação de pessoal (da qual depende o maior ou menor grau de dificuldade sentido na elaboração da escala, devido à maior ou menor escassez de tripulantes habilitados a conduzir determinadas viaturas);
- (iii) a concessão de férias, descansos e licenças (importante no estabelecimento do equilíbrio anual, semanal e diário entre o número de serviços a assegurar e o número de tripulantes disponíveis);
- (iv) a negociação de condições de trabalho com os sindicatos (para as quais importa prever as implicações de carácter operacional e financeiro).

A informação diária actualmente recolhida pode ser considerada razoável, embora o tratamento e a utilização que lhe é dada constitua um dos pontos fracos do sistema, quedando-se muito aquém das necessidades. Questões cruciais, como a de estimar qual o melhor compromisso entre contratar mais pessoal tripulante e fazer mais horas extraordinárias, ficam sem resposta.

Assim, é conveniente a introdução de um processamento mais completo e eficiente dos dados disponíveis que possibilite a simulação de situações futuras e a avaliação de políticas alternativas de exploração.

4. CONCEPÇÃO DO MÓDULO DE ESCALAMENTO

4.1. FILOSOFIA GERAL ADOPTADA

A criação de um módulo de escalamento traduziu-se no levantamento de um sistema integrado de informação que serve de suporte a todas as funções relacionadas com a gestão do pessoal tripulante. O sistema torna mais rápida e precisa a realização dessas funções, libertando os seus responsáveis da execução das tarefas mais rotineiras e permitindo-lhes usar as suas capacidades no julgamento de procedimentos alternativos que ele próprio explora.

Na concepção do módulo estiveram envolvidos, desde os estádios iniciais, os membros da empresa mais directamente ligados ao problema do escalamento. A troca de pontos de vista sobre os objectivos do trabalho em curso e sobre as limitações e potencialidades do instrumento de que passariam mais tarde a dispor, teve dois méritos fundamentais. Ao mesmo tempo que interessava os futuros utilizadores no desenvolvimento do sistema, preparando a sua aceitação, possibilitou a recolha de inúmeras sugestões que nele foram posteriormente incorporadas.

Da informação necessária ao escalamento, apenas uma pequena parcela é partilhada com as demais actividades de planeamento e controle, o que lhe confere uma autonomia assinalável. Apesar disso, a filosofia adoptada na concepção e desenvolvimento do módulo de escalamento respeitou as características mais relevantes do Sistema de Apoio à Decisão em que está inserido. Foram assim evitadas descontinuidades indesejáveis na sua utilização, para além de que os resultados práticos referentes à versão já instalada (Freire de Sousa (1988)) haviam provado o acerto das opções tomadas, aconselhando a que fossem mantidas.

4.1.1. FLEXIBILIDADE E INTEGRAÇÃO

O desenvolvimento de um módulo com a amplitude e a complexidade que este possui, constitui um trabalho demorado que não pode ser reiniciado sempre que nele se pretendam introduzir refinamentos ou se verifiquem alterações nas condições de operação. Daqui resulta a necessidade de o dotar de uma estrutura flexível que favoreça o seu crescimento por etapas,

preparando-o para futuras expansões. Esta estrutura deve basear-se na decomposição do escalamento em tarefas elementares, em relação às quais há que estabelecer as respectivas fronteiras. Tal implica a definição clara do modo como as diferentes partes interactivam e impõe o dispêndio de mais tempo na elaboração do módulo (tornando-o muito mais compreensível e transparente). Desta forma, quando se sentir a necessidade de o ampliar, estará consideravelmente simplificada a tarefa de integração de novos elementos.

Cada um dos componentes do sistema recorre a um determinado "input" que, uma vez processado, conduz à produção de "outputs". Verifica-se frequentemente que os dados de saída de alguns componentes coincidem com os dados de entrada de outros. Ora, uma vez que o sistema se destina a ser instalado num microcomputador, o espaço de memória ocupado pela informação que utiliza é uma questão crucial, não sendo aconselháveis nem duplicações nem o registo de informação irrelevante. Nalguns casos, o tempo de resposta do sistema é ligeiramente ampliado pela execução de procedimentos que servem unicamente para recuperar e/ou reformatar informação que, de outro modo, teria que ser armazenada no sistema.

Resumidamente, pode dizer-se que a flexibilização do sistema impõe ao módulo de escalamento uma estrutura diferenciada que, no entanto, só é bem sucedida porque acompanhada de um esforço considerável de integração da informação.

4.1.2. INTERACTIVIDADE

As vantagens do recurso a uma abordagem interactiva são, neste caso, muito significativas. Tais vantagens derivam basicamente da natureza das tarefas a realizar e do tipo de utilizadores do sistema.

Desde logo, se não existisse a possibilidade do operador controlar interactivamente o sistema, crê-se que dificilmente seria concedido a este o tempo necessário para demonstrar a sua relevância, dado o forte enraizamento dos métodos actualmente seguidos e a esperada reacção dos tripulantes face a quaisquer alterações ou mesmo ajustamentos das regras em vigor.

Por outro lado, a interactividade permite aproveitar em simultâneo, do modo que se revelar mais proveitoso, as características específicas do homem e da máquina. A última é incapaz de tratar certas questões menos formais, não possuindo experiência nem sensibilidade, enquanto o primeiro é lento, precisando de ajuda na exploração de linhas de acção alternativas. Uma interacção criativa entre o recurso a instrumentos matemáticos de optimização, só ao alcance do computador, e a capacidade do operador em conduzir o processo de acordo com a sua intuição pode produzir as soluções mais adequadas.

Contudo, operador e computador dominam linguagens distintas, pelo que a eficácia do diálogo que travam depende da qualidade da interface desenvolvida. No caso presente, considerou-se que a reduzida formação informática dos potenciais utilizadores não deveria constituir um obstáculo à sua participação activa. A solução encontrada assenta num vasto conjunto de ecrãs organizados em árvore (Sousa (1986)). Alguns, os menus de selecção, servem para subir ou descer na árvore, localizando o operador na área de trabalho que lhe interessa, altura em que os outros permitem a comunicação de informação e o desencadear de processamentos.

Ao operador é dada a possibilidade de actuar em todas as fases do processo de escalamento, podendo inclusivamente aceder directamente aos ficheiros de dados e alterar a informação aí armazenada. Na resolução de um qualquer problema pode recorrer ao sistema de formas distintas:

- (i) Apenas substituir o lápis e a borracha pelo teclado, seguindo passo a passo os procedimentos manuais que bem conhece, só que com muito maior comodidade. O sistema limita-se então a validar a entrada de informação, assinalando inconsistências que eventualmente ocorram.
- (ii) Desencadear procedimentos para a geração automática de soluções. Em situações em que o sistema disponha de vários métodos de resolução alternativos, caberá ao operador optar por um deles. Nalguns casos, será inquirido sobre determinados parâmetros a fixar no âmbito do processo adoptado.

- (iii) Confirmar, ignorar ou alterar a solução fornecida pelo sistema. Este informa-o sobre os valores assumidos por um conjunto de indicadores, ajudando-o na decisão a tomar. Se esta for no sentido da alteração, é colocada à disposição do operador a informação que ele julgue necessária ou que o sistema entenda ser conveniente.

Qualquer um dos três modos de operar o sistema apresenta vantagens próprias. O primeiro permite que o contacto inicial do utilizador com o sistema seja mais fácil, captando pouco a pouco o seu interesse e a sua aprovação. Através dele se desenvolve grande parte do processo de formação de operadores. No momento em que estes passam a confiar nas capacidades do sistema e a concordar com as soluções que dele obtêm, podem recorrer ao modo seguinte. O último, potencialmente o mais interessante, tira o máximo partido da interactividade. Destina-se, fundamentalmente, à resolução de problemas em que os conhecimentos e o sentido crítico do operador são imprescindíveis, dando-lhe a oportunidade de contemplar os aspectos que não soube ou não pôde transmitir ao sistema. Com a finalidade de flexibilizar este modo de operação, a resolução de alguns desses problemas é feita por etapas, no termo de cada uma das quais o operador pode intervir.

Foi dedicada uma atenção especial à produção de "outputs" impressos. Eles permitem não só ultrapassar a dificuldade de nem sempre se conseguir dispor num único ecrã toda a informação considerada necessária, como constituem instrumentos de trabalho sobre os quais o operador anota as suas sugestões. Alguns servem mesmo de documentos cuja principal função é a de informar terceiros sobre decisões que os afectam.

4.2. DESCRIÇÃO DO MÓDULO

4.2.1. ESTRUTURA GLOBAL

A estrutura adoptada para o módulo de escalamento está representada na figura 13. Aí estão descritas as principais opções que aos vários níveis se colocam aos utilizadores do sistema. Estes, para se localizarem na área

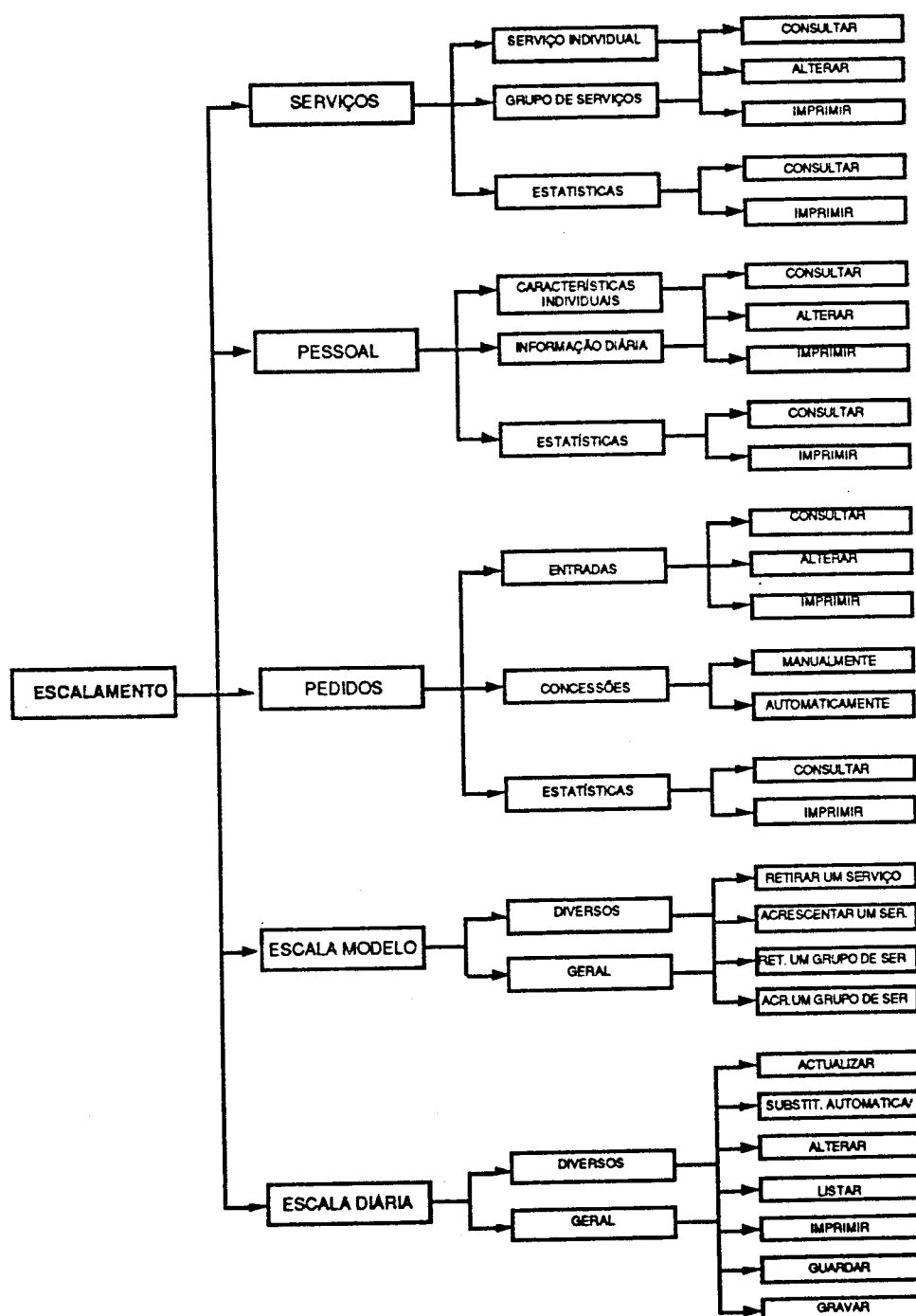


Figura 13 - Estrutura global do módulo de escalamento.

de trabalho pretendida deverão passar por sucessivos menus de selecção, escolhendo em cada um deles qual o caminho a tomar.

Com base nas opções do primeiro nível, apresentam-se em seguida, resumidamente, as possibilidades do sistema. Antes, porém, uma nota relacionada com as Escalas de Diversos e de Extraordinários. A primeira,

pela natureza dos serviços envolvidos não constitui qualquer problema, sendo elaborada de acordo com uma versão simplificada dos procedimentos expostos para a Escala Geral. A segunda, não é referida pelo facto de o tratamento automático do escalamento ter retirado justificação à sua existência.

- | | |
|---------------|---|
| Serviços | - O operador tem acesso às características dos serviços gerados pela Secção de Movimento, podendo ele próprio definir novos serviços ou alterar as características dos existentes. A pedido, ser-lhe-ão fornecidas as informações que desejar, como por exemplo, o número de serviços de uma determinada estação que exigem do motorista a prática de troleicarro. |
| Pessoal | - As características dos tripulantes, bem como a situação diária em que cada um se encontra, podem ser chamadas pelo operador, que as pode modificar. Na sequência do exemplo anterior, o operador pode também inquirir o sistema sobre o número de motoristas supras com prática de troleicarro. |
| Pedidos | - Os pedidos apresentados pelo pessoal tripulante são registados, ficando a aguardar a concessão respectiva, que pode ser da iniciativa do operador ou do próprio sistema, de acordo com as regras em vigor. Sempre que se responde afirmativamente a um dado pedido, o sistema procede às actualizações necessárias, pelo que está preparado, por exemplo, para informar o operador sobre qual o número de tripulantes a quem foram concedidas licenças para um determinado dia. |
| Escala modelo | - O operador decide sobre a retirada ou a inclusão de serviços na escala modelo. Se pretender acrescentar um grupo de serviços destinados a serem assegurados em regime rotativo, o sistema põe à sua disposição três métodos alternativos para a sua ordenação (ver secção 5.1.). |

- Escala diária - Identificado o dia a que respeita a escala a ser trabalhada, o operador dispõe dos seguintes comandos:
- Actualizar - Caso a escala já tenha sido iniciada numa sessão de trabalho anterior, o sistema verifica se as alterações entretanto registadas criam incoerências. Se isso acontece resolve-as.
 - Substituir automaticamente - Definidos os serviços "a tentar escalar" e os tripulantes disponíveis, o sistema associa uns e outros de acordo com as regras utilizadas na elaboração manual da escala ou, em alternativa, recorrendo à programação matemática (ver secção 5.2.).
 - Alterar - O sistema permite alterar directamente a escala.
 - Listar
 - Imprimir
 - Guardar - A versão actual da escala é guardada a fim de ser retomada numa outra sessão de trabalho.
 - Gravar - A versão actual da escala é dada como definitiva pelo que o sistema grava em disco os elementos que lhe interessa reter, destruindo-a em seguida.

Não faz sentido accionar alguns destes comandos sem que tenham sido precedidos por outros. Para precaver erros deste tipo, o sistema decide, em cada momento, quais os comandos que devem estar activos ou não. Evita-se assim, por exemplo, gravar uma versão da escala trabalhada numa sessão anterior e que ainda não haja sido actualizada na sessão corrente. Na figura 14 estão representadas as várias sequências pelas quais os menus referentes à Escala Geral podem surgir.

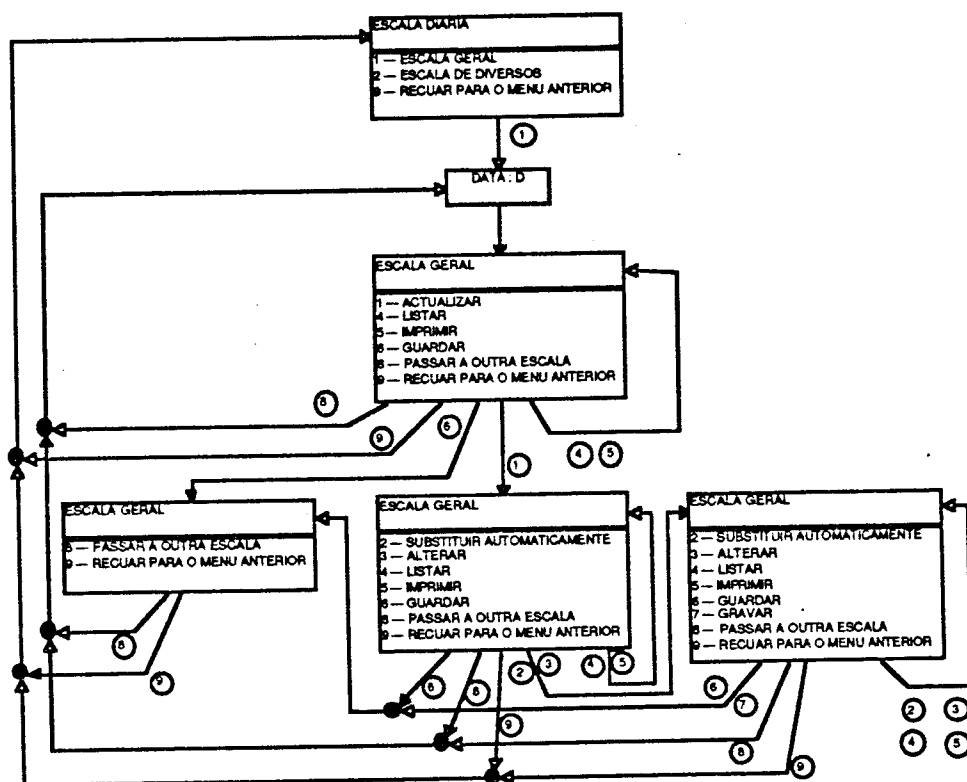


Figura 14 - Sequência de menus da Escala Geral.

4.2.2. ESTRUTURAS DE INFORMAÇÃO

A informação usada no módulo de escalamento é muito vasta, não sendo indiferente o modo como é armazenada. Com os ficheiros criados tentou-se reduzir a informação a reter e torná-la de fácil acesso, embora isso haja contribuído para um certo afastamento em relação à forma como estão organizados os actuais arquivos. A interface desenvolvida encarrega-se, no entanto, de dissimular tais diferenças, permitindo ao utilizador manipular os dados do modo que lhe é mais familiar.

Para efeito da sua apresentação, os tipos de ficheiros de dados definidos, em número superior a trinta, foram agrupados sob as seguintes designações genéricas:

CARSER - Inclui as características dos serviços. Aquelas que são comuns aos serviços de um mesmo grupo, não são repetidas para cada um desses serviços, sendo associadas ao grupo.

- CARTRI - Contém as características dos tripulantes que não estão sujeitas a modificações diárias.
- INFTRI - Conjunto de ficheiros diários onde se registam os condicionamentos ao escalamento dos tripulantes em cada dia.
- ESTTRI - Contém as características dos tripulantes que são diariamente alteradas.
- ENTPED - Inclui as listas dos tripulantes interessados em cada tipo de pedido. A ordenação dos tripulantes em cada uma das listas de acordo com a antiguidade dos respectivos pedidos, dispensa o conhecimento da data em que estes foram apresentados.
- ESTPED - Mantém as estatísticas sobre a entrada de pedidos e sua concessão.
- ALTESC - Conjunto de ficheiros, que podem ser diários, onde estão registadas as alterações que se verificam na escala modelo a partir de um determinado dia.
- MODESC - Contém, para o dia a que respeita a última escala diária gravada, a escala modelo válida nessa data (os tripulantes firmes, substitutos dos encaixados durante as ausências prolongadas destes, passam a integrar a escala modelo).
- DIAESC - Conjunto de ficheiros onde são mantidas as versões das várias escalas diárias já iniciadas.

A utilização que as diferentes áreas de trabalho do sistema fazem da informação armazenada está descrita na figura 15. Convém referir que o sistema procede à destruição dos ficheiros logo que possível. Após a gravação da escala de um dado dia, por exemplo, a informação relativa a esse dia presente em INFTRI, ALTESC e DIAESC é abandonada.

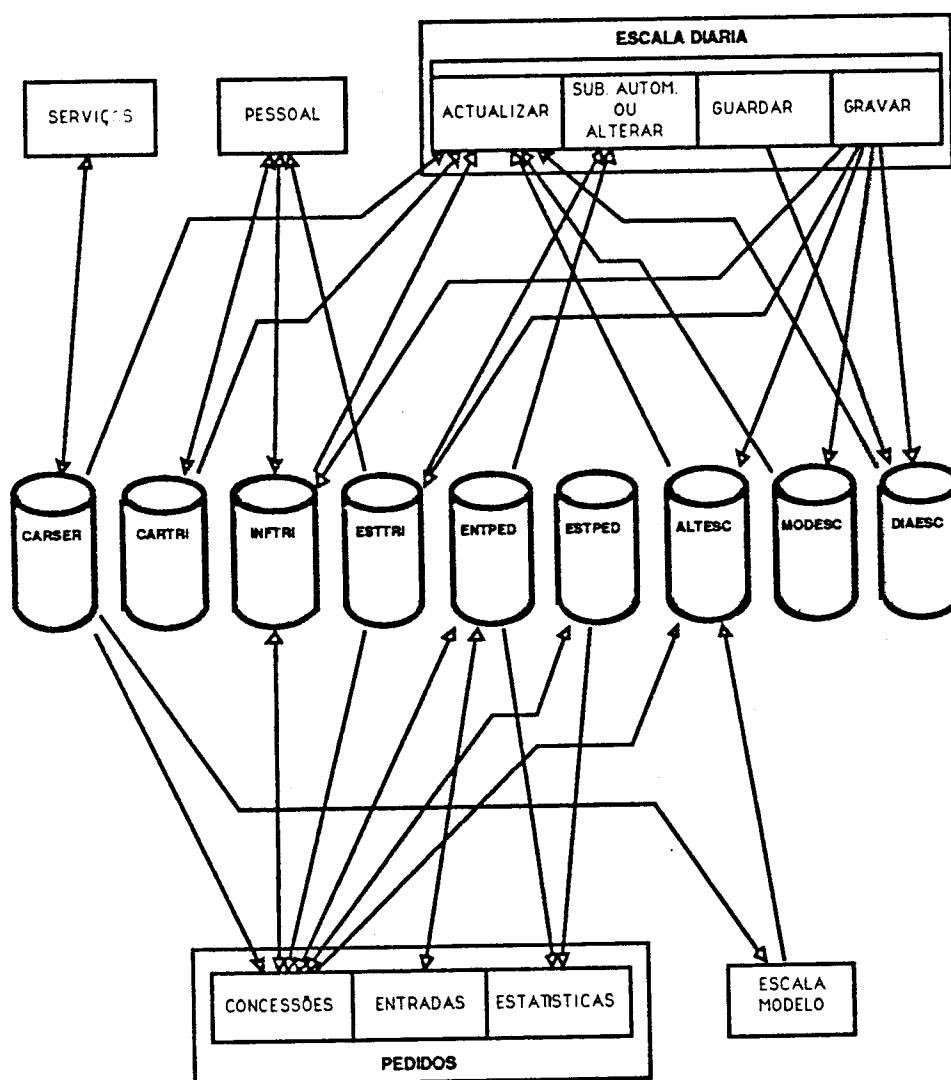


Figura 15 - Utilização das estruturas de informação.

4.3. ILUSTRAÇÃO DO FUNCIONAMENTO DO SISTEMA

A figura 16 apresenta uma sequência de ecrãs que ilustram o modo de operar o sistema. Neste caso particular, o operador pretende retomar a versão da Escala Geral do dia 25 de Dezembro de 1987, elaborada numa sessão de trabalho anterior. No ecrã 3, ele opta assim por continuar o trabalho sobre essa escala. Seguidamente, procede à sua actualização, isto é, dá ordem ao sistema para verificar se as alterações entretanto registadas nas situações dos trabalhadores criam incoerências. Pede então a impressão de um grupo de serviços pertencentes à estação de Francos, respeitante à linha nº 41 e o sistema dá a indicação de que só existem, na linha referida, serviços do tipo normal (NOR) e fora das regras (FDR). O operador opta

pelo tipo normal e recebe a folha impressa. Com base na informação nela contida, indica o seu desejo de alterar a escala, carregando na tecla F3. No ecrã 8, ele escolhe tratar o serviço nº 69 ("a tentar escalar" (TE)), procurando substituir o tripulante nº 647, que se encontra na situação de indisponibilidade (traduzida pelo código 29), pelo tripulante nº 2359. O sistema informa-o que o tripulante escolhido não tem as habilitações necessárias para efectuar tal serviço e lista os tripulantes disponíveis com as habilitações requeridas. Seguindo uma das sugestões fornecidas, o operador altera a escala, após o que se decide pela sua gravação.

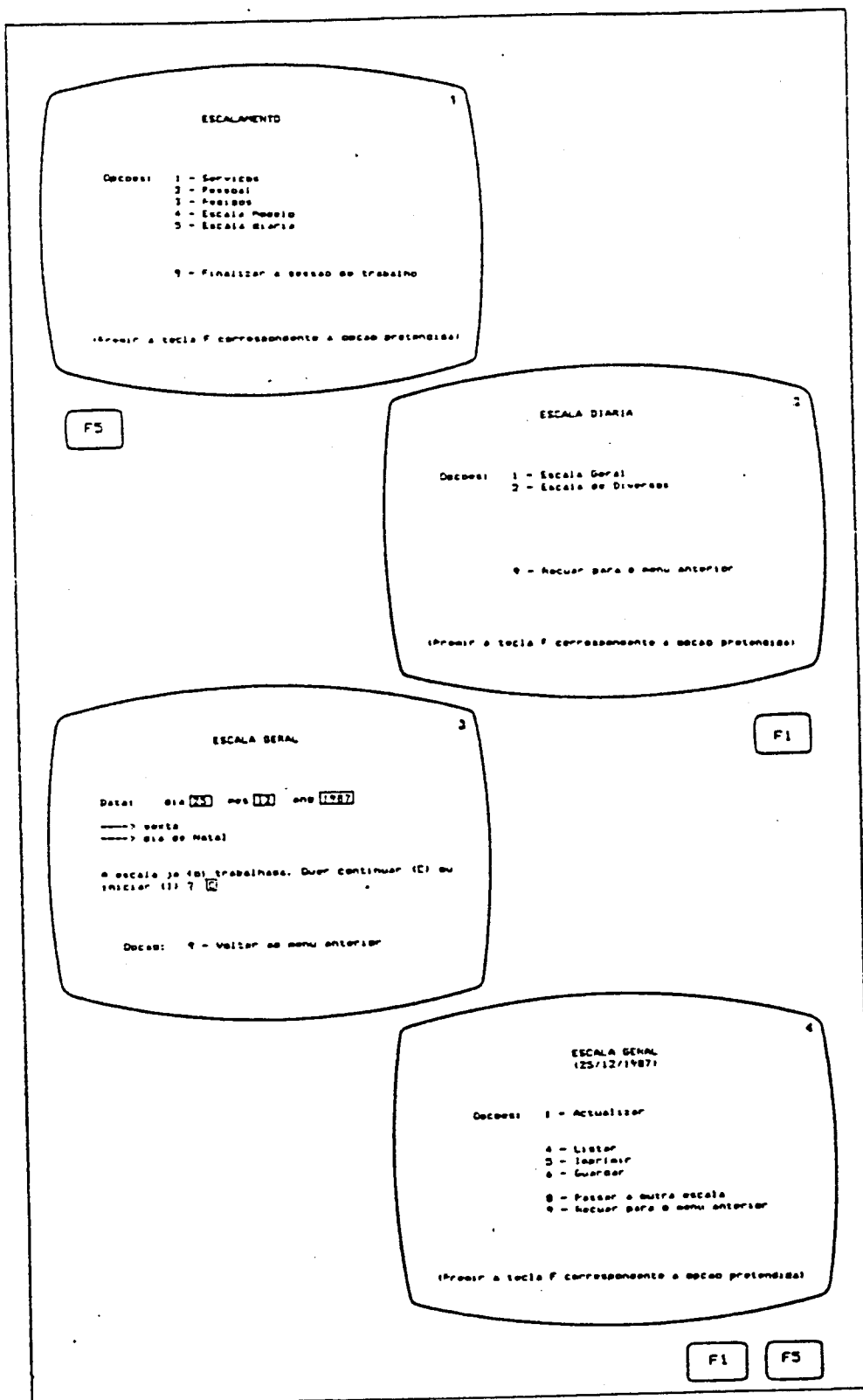


Figura 16 - Exemplo.

8

ESCALA GERAL (25/12/1987)
Ingressado

Opções:

- 1 - Escala
- 2 - Serviços de uma estação
- 3 - Serviços de um grupo
- 4 - Serviço individual
- 5 - Tribulantes
- 6 - Tribulantes de um dado tipo
- 7 - Tribulante individual
- 9 - Retornar para o menu anterior

(Pressir a tecla F correspondente a opção pretendida)

F3

6

ESCALA GERAL (25/12/1987)
Ingressado

Identificação do grupo de serviços a inspeção

Estação F33 POA/CAR/FAA/SRO/ARE

Linha 41

Tipo de serviço NOR NOR/FDR

Opção: 9 - Voltar ao menu anterior

ESCALA GERAL

25/12/1987

Estação: FRANCIS Linha: 41 Tipo: NORMAL

65	91	36		3532	A S S A T E A S S A S
66	613				
67	512	4	437	99	
68	381				
69	447	29			
70	54				
71	294	7	3955	36	
72	191	99		2464	
73	660	4	3943		
74	316	28			

7

ESCALA GERAL
(25/12/1987)

Opções:

- 2 - Substituir automaticamente
- 3 - Alterar
- 4 - Listar
- 5 - Insistir
- 6 - Guardar
- 7 - Gravar
- 8 - Passar a outra escala
- 9 - Retornar para o menu anterior

(Pressir a tecla F correspondente a opção pretendida)

F3

Figura 16 (continuação).

ESCALA GERAL (25/12/1987)
Alteracao

-----> Servico (S) / Tribunal (T) **5**
A. (M) / Hora (H) **15** numero **22**

15 22 705 2027

o tribunantes habilitacoes disponiveis

Substituto **0000**
Classificacao **15**

Opcoes: 1 - Informacao adicional
2 - Voltar ao menu anterior

(Pressar a tecla F correspondente a opcao pretendida)

ESCALA GERAL (25/12/1987)

Opcoes:

- 2 - Substituir automaticamente
- 3 - Alterar
- 4 - Listar
- 5 - Imprimir
- 6 - Guardar
- 7 - Gravar
- 8 - Passar a outra escala
- 9 - Retornar para o menu anterior

(Pressar a tecla F correspondente a opcao pretendida)

F7

Figura 16 (continuação).

5. MODELAÇÃO DOS PROBLEMAS DE ORDENAÇÃO DOS SERVIÇOS E DE ESCALAMENTO DOS TRIPULANTES SEM SERVIÇO FIXO

Anteriormente, nas secções 3.3.1. e 3.3.2., foram referidos dois problemas que, no contexto do processo global de escalamento, se destacam pela sua complexidade: os problemas de ordenação dos serviços e de escalamento dos tripulantes sem serviço fixo.

Apresentam-se em seguida modelos desenvolvidos para a sua representação e métodos de resolução que constituem procedimentos alternativos em relação àqueles que são correntemente adoptados.

5.1. O PROBLEMA DA ORDENAÇÃO DOS SERVIÇOS

5.1.1. FORMULAÇÃO

Definidos os serviços de um grupo, pretende-se determinar a ordem pela qual devem ser dispostos de modo a que um tripulante que os realize um após outro, passando do último ao primeiro, veja minimizada a variação das amplitudes dos intervalos de descanso.

Considere-se o caso genérico de um grupo constituído por n serviços diários, s_i (para $i=1, 2, \dots, n$), em que o índice i representa a ordem pela qual estão ordenados. O tripulante que realiza o serviço s_1 no dia k cumpre o esquema de trabalho que se apresenta na figura 17, onde d_i representa a duração do intervalo de descanso entre os serviços s_i e s_{i+1} .

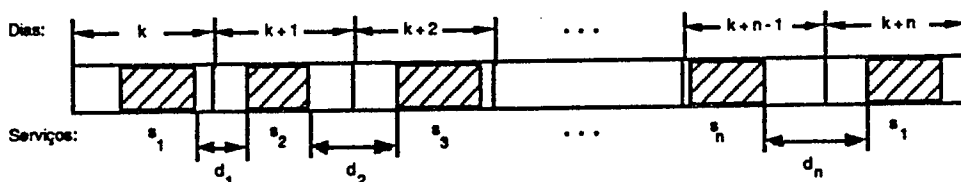


Figura 17 - Esquema de rotação de serviços.

O somatório das durações dos n serviços é independente da sua ordenação e igual a uma constante C , pelo que também o somatório das durações dos intervalos de descanso,

$$\sum_{i=1}^n d_i = 24n - C \quad (\text{supondo } d_i \text{ e } C \text{ expressos em horas})$$

não depende da ordem estabelecida para os serviços. Nestas circunstâncias, o problema de regularização das amplitudes dos intervalos de descanso traduz-se em encontrar a ordenação dos serviços que minimiza o somatório dos quadrados das durações dos n intervalos de descanso consecutivos. Antes de se formalizar este problema, há que o adaptar, por forma a ter em conta dois aspectos que caracterizam as situações que na prática ocorrem.

Em primeiro lugar, verifica-se que as horas de início e de fim de um serviço variam consoante se trata de um dia útil (u), sábado (s) ou domingo/feriado (d/f). Assim, a duração do intervalo de descanso entre o serviço s_i e o serviço s_{i+1} é função dos dias em que estes são realizados. As situações possíveis estão assinaladas com o símbolo "x" no quadro apresentado na figura 18.

		s_{i+1}		
		u	s	d/f
s_i	u	x	x	x
	s			x
	d/f	x	x	x

Figura 18 - Transições alternativas entre serviços consecutivos.

Sendo $p(l,m)$ a probabilidade de a um dia do tipo l suceder um dia do tipo m e $d_i(l,m)$ a duração do intervalo de descanso entre o serviço s_i realizado num dia do tipo l e o serviço s_{i+1} realizado num dia do tipo m , o valor médio do intervalo de descanso entre os serviços s_i e s_{i+1} vem dado por:

$$\bar{d}_i = \sum_{l,m} p(l,m) d_i(l,m) \quad \text{para } l,m=u, s, d/f$$

Para cada par (l,m) vem

$$\sum_{i=1}^n d_i(l,m) = k(l,m)$$

onde $k(l,m)$ não depende da ordem estabelecida para os serviços. Então

$$\begin{aligned}
\sum_{i=1}^n \bar{d}_i &= \sum_{i=1}^n \sum_{l,m} p(l,m) d_i(l,m) \\
&= \sum_{l,m} \left[p(l,m) \sum_{i=1}^n d_i(l,m) \right] \\
&= \sum_{l,m} p(l,m) k(l,m)
\end{aligned}$$

De acordo com este resultado, quando se consideram durações médias $\bar{d}_i$ em vez de durações fixas d_i , mantém-se a condição de que o somatório das durações dos intervalos de descanso não depende da ordem estabelecida para os serviços.

O segundo aspecto que, na prática, há que ter em conta, resulta do facto de que alguns serviços não se realizam em certo tipo de dias, dizendo-se que são suprimidos. Neste caso, uma vez que aos tripulantes com serviço suprimido cabe normalmente realizar um trabalho de características semelhantes, é razoável criarem-se para esses serviços e para o tipo de dias em que não se realizam, horários fictícios que correspondem à média ponderada dos horários dos restantes dias.

Seja c_{ij} o quadrado da duração média do intervalo de descanso quando o serviço j sucede ao serviço i (com $i \neq j$). No caso de algumas das durações que contribuem para o cálculo da duração média ficarem aquém do limite mínimo de 8 horas, torna-se impossível fazer suceder o serviço j ao serviço i e c_{ij} toma um valor M muito grande (de uma ordem de grandeza muito superior a qualquer quadrado das durações médias dos intervalos). O problema da ordenação dos serviços pode então ser formulado do seguinte modo:

Minimizar

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

sujeito a

$$(i) \quad \sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad \text{para } j=1, 2, \dots, n$$

$$(ii) \sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad \text{para } i=1, 2, \dots, n$$

$$(iii) u_i - u_j + n x_{ij} \leq n - 1 \quad \text{para } i, j=2, 3, \dots, n \ (i \neq j)$$

onde

$$x_{ij} : \begin{cases} 1, & \text{se o serviço } j \text{ sucede ao serviço } i \\ 0, & \text{se tal não suceder} \end{cases}$$

u_i, u_j : variáveis auxiliares reais sem qualquer restrição

As restrições (i) e (ii) são de interpretação evidente. As restrições (iii) destinam-se a assegurar que a solução obtida para o problema constitui uma volta (ou circuito) única (isto é, sem subvoltas).

Nesta formulação identifica-se um problema clássico da optimização combinatória, o do caixeiro viajante, que Karp (1972) demonstrou ser NP-completo. Embora hajam sido desenvolvidos algoritmos engenhosos para a sua resolução exacta (Held e Karp (1970, 1971) e Crowder e Padberg (1980), para o caso em que a matriz de custos é simétrica, e Balas e Christofides (1981), para o caso assimétrico), o espaço de memória e o esforço computacional exigidos, mesmo em problemas de dimensão relativamente pequena, levaram ao aparecimento de inúmeras heurísticas, algumas das quais responsáveis pelas melhores soluções conhecidas (Christofides e Eilon (1972) e Lin e Kernighan (1973)).

5.1.2. MÉTODOS DE RESOLUÇÃO

Na resolução do problema de ordenação dos serviços, caracterizado por uma matriz de custos (c_{ij}) não-simétrica e com um reduzido número de M's, foram explorados três processos alternativos: um método exacto e duas heurísticas.

5.1.2.1. MÉTODO DE EASTMAN

Na maioria dos casos, os métodos exactos usados na resolução do problema do caixeiro viajante são enumerativos e diferem basicamente no modo como estabelecem limites inferiores. O método de Eastman (1958), descrito no fluxograma da figura 19, recorre à relaxação das restrições (iii) para gerar esses limites, convertendo o problema num outro, de afectação. A sua escolha ficou a dever-se ao facto de ser facilmente programável, ainda que não seja dos mais eficientes. O interesse fundamental no recurso a este método foi o de permitir avaliar a qualidade das soluções proporcionadas pelos métodos heurísticos. Deve acrescentar-se que nem mesmo os métodos exactos mais sofisticados correm em tempo aceitável, quando implementados num microcomputador.

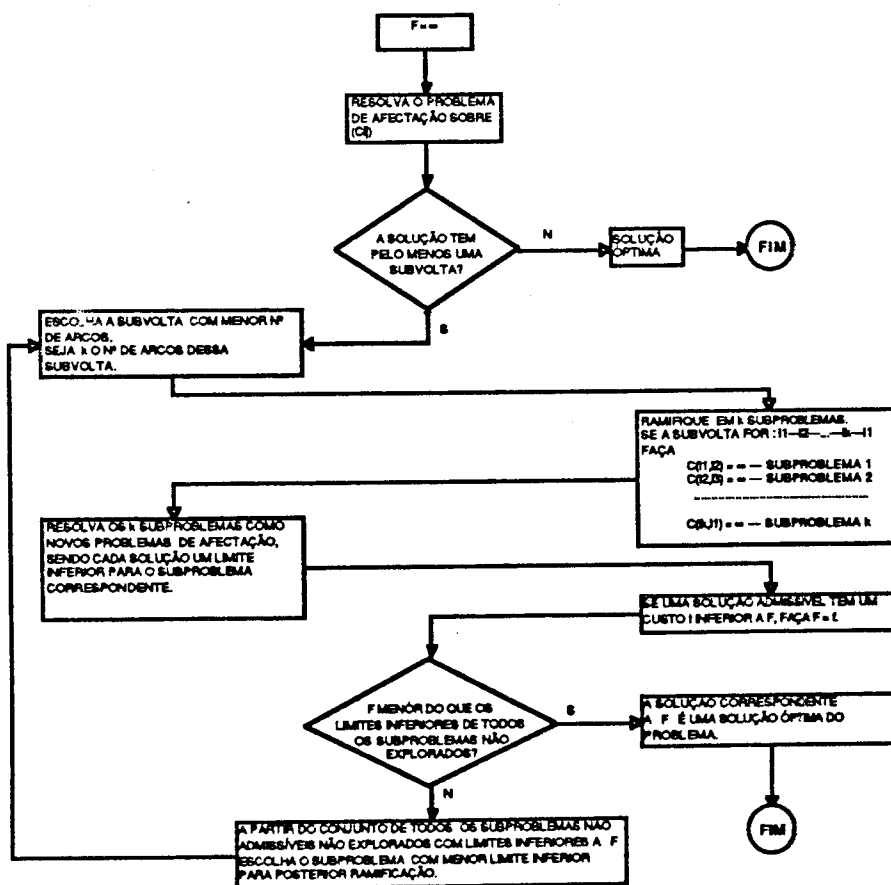


Figura 19 - Fluxograma do método de Eastman.

5.1.2.2. HEURÍSTICA COMPOSTA

As heurísticas desenvolvidas para o problema do caixeiro viajante agrupam-se, segundo Bodin et al. (1983), em três grandes classes:

- (i) a dos métodos construtivos, nos quais, a partir da matriz de custos, se gera directamente uma boa solução;
- (ii) a dos métodos progressivos, nos quais, partindo de uma solução inicial arbitrária, se procuram definir soluções progressivamente melhores;
- (iii) a dos métodos compostos, que combinam os dois procedimentos anteriores.

Com base na análise comparativa de algoritmos aproximados levada a efeito por Golden et al. (1980), desenvolveu-se uma heurística híbrida que se enquadra na classe dos métodos compostos. Esta heurística é seguidamente descrita, recorrendo ao conceito de rede na qual cada nó representa um serviço e cada arco estabelece uma sequência de serviços.

FASE I

Passo 1: Escolher um nó inicial qualquer.

Passo 2: Seleccionar o nó que está ligado ao nó inicial pelo arco de maior custo. Construir com estes dois nós uma subvolta.

Passo 3: Terminar no caso de a subvolta conter todos os nós.

Passo 4: Seleccionar, de entre os nós não incluídos na subvolta, aquele que está ligado a um dos nós da subvolta pelo arco de maior custo.

Passo 5: Seleccionar, de entre os arcos que integram a subvolta, aquele cuja eliminação seguida da ligação dos seus extremos ao nó seleccionado no passo anterior, resulta na subvolta com menor custo.

Passo 6: Eliminar esse arco e introduzir o nó seleccionado na subvolta. Voltar ao Passo 3.

FASE II

Passo 1: Considerar que nenhum dos arcos da volta está assinalado.

Passo 2: Seleccionar, de entre os arcos integrados na volta que ainda não estão assinalados, o de maior custo.

Passo 3: Verificar se um qualquer conjunto de três arcos integrados na volta, no qual se inclua o arco seleccionado, pode ser substituído com redução de custo por um conjunto de três arcos não pertencentes à volta. Se um tal conjunto existir, proceder à substituição e voltar ao Passo 1. No caso contrário, assinalar o arco seleccionado.

Passo 4: Terminar, se todos os arcos da volta estão assinalados; senão, voltar ao Passo 2.

O modo como se processa a substituição de arcos referida no Passo 3 da FASE II está esquematizado na figura 20.

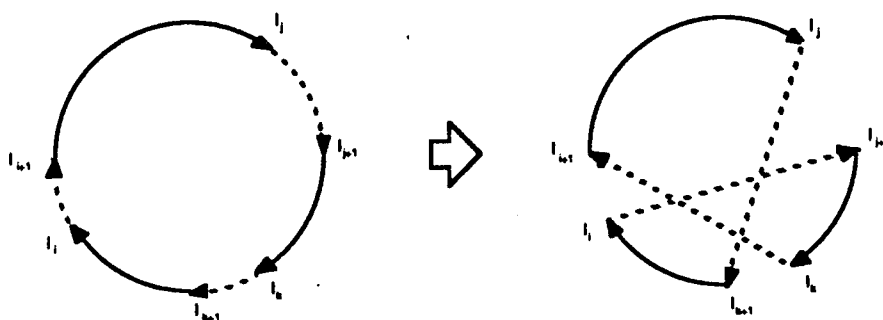


Figura 20 - Esquema para a substituição de um conjunto de três arcos.

Para que se consiga uma redução de custos ao efectuar esta substituição, e uma vez fixado de entre os arcos não assinalados o de maior custo (seja (l_i, l_{i+1})), a selecção do nó l_{j+1} deve verificar a desigualdade:

$$c(l_i, l_{j+1}) < c(l_i, l_{i+1}) + f_1 [T - (l_i, l_{i+1})] + f_2 [T - (l_i, l_{i+1})] - \\ - \min_{\substack{m \neq i, i+1}} [c(l_m, l_{i+1})] - \min_{\substack{m \neq i-1, i \\ m+1 < n < i+1}} [c(l_m, l_n)]$$

onde

l_p : nó que está na posição p dentro da volta

$c(l_p, l_q)$: custo do arco (l_p, l_q)

$f_r(S)$: custo do r-ésimo arco de maior custo no conjunto de arcos S

T : conjunto dos arcos da volta

Após a escolha do arco (l_j, l_{j+1}) , a selecção do nó l_{k+1} deve verificar a desigualdade:

$$c(l_j, l_{k+1}) < c(l_i, l_{i+1}) + c(l_j, l_{j+1}) - c(l_i, l_{j+1}) + \\ + f_1 [T - \{(l_m, l_{m+1}), i \leq m \leq j\}] - \min_{j < m < i} [c(l_m, l_{i+1})]$$

Deste modo, são apenas exploradas as hipóteses promissoras, desprezando-se as restantes.

5.1.2.3. HEURÍSTICA DE AKL

Muitas das heurísticas conhecidas, apesar de se destinarem a problemas com matrizes de custos simétricas, podem ser também aplicadas a problemas onde essa característica não se verifique. O

algoritmo que se descreve nesta secção foi especificamente concebido por Akl (1980) para este último tipo de problemas.

- Passo 1: Transformar o grafo orientado num outro não orientado em que $c'_{ij} = \min \{c_{ij}, c_{ji}\}$. Determinar a partir deste grafo a árvore de custo mínimo. Atribuir às ligações obtidas o sentido associado ao custo considerado.
- Passo 2: Identificar os nós com excesso de arcos incidentes como origens e os nós com excesso de arcos divergentes como destinos, e resolver o problema de transportes resultante. Introduzir a solução no grafo de modo a torná-lo euleriano.
- Passo 3: Encontrar nesse grafo um circuito euleriano.
- Passo 4: Percorrer este circuito incluindo os nós apenas quando estes aparecem pela primeira vez. Define-se assim um circuito hamiltoniano.

Na programação do algoritmo, recorreu-se ao método de Kruskal (1956) para obtenção da árvore de custo mínimo e substituiu-se o problema de transportes pelo problema de afectação correspondente. Para além disso, no Passo 4, optou-se por gerar todos os circuitos hamiltonianos obtensíveis a partir do circuito euleriano encontrado, o que se consegue iniciando o percurso em diferentes nós.

5.1.3. RESULTADOS OBTIDOS

Para testar as aptidões dos algoritmos descritos foram utilizados cinco grupos de serviços reais de diferentes dimensões cujas características relevantes se apresentam em ANEXO. As soluções encontradas e os tempos de execução respectivos figuram na tabela 1:

GRUPO	NÚMERO DE SERVIÇOS	VALOR DA SOLUÇÃO ACTUAL	MÉTODO DE EASTMAN		HEURÍSTICA COMPOSTA		HEURÍSTICA DE AKI	
			VALOR DA SOLUÇÃO	TEMPO DE EXECUÇÃO	VALOR DA SOLUÇÃO	TEMPO DE EXECUÇÃO (s)	VALOR DA SOLUÇÃO	TEMPO DE EXECUÇÃO (s)
1	10	9535	8378	(~3HORAS)	8378	9.0	9120	4.5
2	13	12942	≥11299	—	11568	17.0	12576	8.5
3	17	18170	≥14078	—	14287	39.0	15948	15.0
4	22	21044	≥17895	—	18012	110.5	19416	65.0
5	40	40327	≥33451	—	33683	817.5	38683	114.5

Tabela 1

A solução óptima só foi atingida para o grupo com menor número de serviços. Nos outros casos, o programa foi interrompido, reportando-se os valores apresentados a tempos de execução superiores a um dia.

As soluções obtidas pelas duas heurísticas foram sempre melhores do que as soluções correntemente adoptadas. Salientam-se os bons resultados fornecidos pela heurística composta, conduzindo a custos que não excederam o valor mínimo (ou um limite inferior deste valor) em mais do que 2.5% (contra cerca de 15% para a heurística de Aki).

5.2. O PROBLEMA DO ESCALAMENTO DOS TRIPULANTES SEM SERVIÇO FIXO

5.2.1. FORMULAÇÃO

Dado um conjunto de serviços a "tentar escalar" e conhecido o grupo de tripulantes disponíveis para os assegurar, pretende-se definir qual o serviço que cabe a cada tripulante realizar, de modo a minimizar o desagrado global motivado pela solução encontrada.

Se o número de tripulantes e de serviços for coincidente e igual a n e c_{ij} traduzir o desagrado que o serviço j provoca ao tripulante i , tomando um valor M muito grande quando se verifique incompatibilidade entre ambos, o problema pode ser descrito matematicamente como um problema de afectação:

Minimizar

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

sujeito a

$$(i) \quad \sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad \text{para } j=1, 2, \dots, n$$

$$(ii) \quad \sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad \text{para } i=1, 2, \dots, n$$

onde

$$x_{ij} : \begin{cases} 1, & \text{se o tripulante } i \text{ realizar o serviço } j \\ 0, & \text{se tal não suceder} \end{cases}$$

Uma vez que a matriz dos coeficientes associados às restrições (i) e (ii) é totalmente unimodular, o problema é equivalente ao problema de programação linear contínua que resulta de tratar as variáveis x_{ij} (para $i, j=1, 2, \dots, n$) como reais não negativas. Para a resolução deste problema podem ser usados métodos polinomiais que exploram a sua estrutura particular, como os recentemente propostos por Carpaneto e Toth (1984).

5.2.2. REFERÊNCIA AO MÉTODO DE RESOLUÇÃO

Segundo Martello e Toth (1987), os algoritmos desenvolvidos para o problema de afectação podem ser classificados como:

- (i) primais, derivados do método simplex,
- (ii) primais-duais baseados no método húngaro, e
- (iii) primais-duais baseados nos métodos de "shortest augmenting path",

tendo os algoritmos primais-duais provado serem superiores aos primais.

O algoritmo que foi programado e incluído no sistema baseia-se directamente no método húngaro. Para identificar em cada iteração qual o número de zeros independentes, recorreu-se ao algoritmo desenvolvido por Ford e Fulkerson (1962) para determinação do fluxo máximo numa rede.

5.2.3. VARIANTES DISPONÍVEIS: AFECTAÇÃO GLOBAL OU AFECTAÇÃO SEQUENCIAL

O recurso à resolução de um problema de afectação surge quando, ao trabalhar uma determinada escala, o operador se decide, dentro da opção "Substituir automaticamente", pela minimização do desagrado colectivo (em alternativa à aplicação sequencial das regras actuais).

Nesse caso, o sistema permite ao operador manter uma estrutura de desagrado anteriormente definida ou proceder à sua alteração. Contudo, por mais sofisticada que essa estrutura seja, contemplando o mais discriminadamente possível as características de tripulantes e serviços, não garantirá por princípio o cumprimento de prioridades estabelecidas.

No sentido de contornar esta dificuldade, é colocada à disposição do operador, além da hipótese de optar pela resolução de um único problema de afectação estendido à totalidade dos tripulantes e dos serviços, a possibilidade de resolver, um após outro, vários problemas de afectação, seleccionando para cada um deles qual a natureza dos serviços e o tipo de tripulantes envolvidos ou escolhendo-os individualmente.

Deve referir-se que, embora este procedimento esteja já incluído no sistema e tenha já sido testado, não foi ainda utilizado na elaboração de escalas reais.

6. CONCLUSÃO

O desenvolvimento do módulo para o escalamento do pessoal tripulante baseou-se numa análise do que de mais relevante foi escrito sobre o tema e, também, no conhecimento dos procedimentos correntemente adoptados pelo STCP e dos problemas que estes colocam. A natureza do processo de escalamento e a escassez das referências bibliográficas existentes reforçaram a necessidade de um diálogo estreito com os Serviços de Exploração e, conseqüentemente, contribuíram para que o sistema fosse desenhado mais à medida do que inicialmente havia sido planeado.

Uma versão do sistema foi já parcialmente testada, aguardando-se a introdução da totalidade dos dados referentes a tripulantes e serviços para se proceder a novos testes à escala real. Se os seus resultados forem os esperados, avançar-se-á então para a fase de implementação do sistema, processo que, apesar de delicado e demorado, será facilitado pela possibilidade de que o utilizador dispõe para reproduzir integralmente os procedimentos manuais que lhe são familiares.

A principal limitação que o sistema apresenta na sua versão actual consiste na precaridade do apoio que fornece ao utilizador na definição de políticas de exploração a médio e longo prazo. Entretanto, com o objectivo de serem integrados numa futura versão, estão a ser estudados e desenvolvidos

- (i) processos para avaliar os efeitos que resultam de variar o número de tripulantes ou de os habilitar com novas práticas de condução de viaturas, e
- (ii) regras heurísticas para a concessão de períodos de férias.

Também para a elaboração da escala poderão vir a ser propostos métodos alternativos que permitam uma distribuição mais equilibrada no tempo da carga de trabalho atribuída aos diferentes tripulantes. O método de multi-afecção "bottleneck", proposto por Carraresi e Gallo (1984a e 1984b), é uma das hipóteses a considerar. Actualmente, dado o número significativo de tripulantes que executam serviços fixos, a uniformização das condições de trabalho depende em larga medida das características dos serviços inicialmente gerados.

Por outro lado, a própria evolução do STCP determinará a necessidade de abordar novas questões ou de modificar os critérios utilizados na resolução das que foram

tratadas. Para algumas alterações, como seja a de passar a elaborar a escala de um modo independente para cada uma das estações de recolha, o sistema já se encontra preparado. Noutros casos, bastará ao utilizador actuar sobre os valores de certos parâmetros. Tal ocorrerá, por exemplo, se houver um aumento da duração mínima para o intervalo de descanso entre serviços consecutivos.

Num sistema de escalamento como aquele que aqui foi apresentado, a organização da informação constitui um ponto de crucial importância. De facto, se as estruturas de dados forem definidas da forma mais aconselhável, como se pensa ter acontecido, torna-se relativamente simples afinar o sistema ou proceder à sua ampliação.

Com a implementação do módulo de escalamento, o STCP passará a dispor de um instrumento de suporte a todas as actividades envolvidas na gestão do pessoal tripulante.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKL, S. (1980), The Minimal Directed Spanning Graph for Combinatorial Optimization, Australian Computers Journal, 12 (4), 132-136.

BALAS, E. e CHRISTOFIDES, N. (1981), A Restricted Lagrangean Approach to the Traveling Salesman Problem, Mathematical Programming, 21, 19-46.

BELLETTI, R. , DAVINI, A. , CARRARESI, P. e GALLO, G. (1985), BDROP: A Package for the Bus Drivers' Rostering Problem, Computer Scheduling of Public Transport 2, ed. J.-M. Rousseau, North-Holland.

BODIN, L. , GOLDEN, B. , ASSAD, A. e BALL, M. (1983), Routing and Scheduling of Vehicles and Crews: The State of the Art, Computers and Operations Research, vol.10, nº 2.

CARPANETO, G. e TOTH, P. (1984), Primal-Dual Algorithms for the Assignment Problem, Report OR/84/2, DEIS, University of Bologna.

CARRARESI, P. e GALLO, G. (1984a), Network Models for Vehicle and Crew Scheduling, European Journal of Operational Research, vol.16, 139-151.

CARRARESI, P. e GALLO, G. (1984b), A Multi-level Bottleneck Assignment Approach to the Bus Drivers' Rostering Problem, European Journal of Operational Research, vol.16, 163-173.

CHRISTOFIDES, N. e EILON, S. (1972), Algorithms for Large-Scale Traveling Salesman Problems, Operations Research Quarterly, vol.23, 511-518.

CROWDER, H. e PADBERG, M. (1980), Solving Large-Scale Symmetric Traveling Salesman Problems to Optimality, Management Science, 26 (5), 495-509.

DICKINSON, R.W. , DRYNAN, W.F. e MANINGTON, P.D. (1981), The Role of the Systems Department and the Role of Operations Management in Introducing Computer Assistance to Bus Scheduling, Computer Scheduling of Public Transport, ed. A. Wren, North-Holland.

EASTMAN, W.L. (1958), Linear Programming with Pattern Constraints, Unpublished Ph. D. Dissertation, Harvard University.

FONSECA, M.C. (1987), Implementação de uma Heurística para Rotação de Serviços do Pessoal Tripulante, Comunicação apresentada ao 3º Congresso da Associação Portuguesa para o Desenvolvimento da Investigação Operacional, Coimbra.

FORD, L. e FULKERSON, D. (1962), Flows in Networks, Princeton University, Princeton, New Jersey.

FREIRE DE SOUSA, J. (1988), Desenvolvimento de um Módulo Interactivo para Geração de Serviços de Tripulações em Transportes Colectivos Urbanos, Dissertação apresentada ao Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa para a concessão do grau de Mestre em I.O. e E.S..

GARNIER, G. (1985), MERCATOR and HASTUS - Macro Computerization and Changing Working Conditions for RATP Bus Drivers, Computer Scheduling of Public Transport 2, ed. J.-M. Rousseau, North-Holland.

GOLDEN, B. , BODIN, L. , DOYLE, T. e STEWART, W. (1980), Approximate Traveling Salesman Algorithms, Operations Research, 28 (3), 694-711.

HAGBERG, B. (1985), An Assignment Approach to the Rostering Problem: An Application to Taxi Vehicles, Computer Scheduling of Public Transport 2, ed. J.-M. Rousseau, North-Holland.

HELD, M. e KARP, R. (1970), The Traveling Salesman Problem and Minimum Spanning Trees, Operations Research, 18, 1138-1162.

HELD, M. e KARP, R. (1971), The Traveling Salesman Problem and Minimum Spanning Trees: Part II, Mathematical Programming, 1, 6-25.

HOFFSTADT, J. (1981), Computerized Vehicle and Driver Scheduling for the Hamburger Hochbahn Aktiengesellschaft, Computer Scheduling of Public Transport, ed. A. Wren, North-Holland.

JACHNIK, J.K. (1981), Attendance and Rostering System, Computer Scheduling of Public Transport, ed. A. Wren, North-Holland.

KARP, R. (1972), Reducibility among Combinatorial Problems, Complexity of Computer Computations, eds. R. Miller e J. Thatcher, Plenum Press, New York.

KRUSKAL JR., J.B. (1956), On the Shortest Spanning Tree of a Graph and the Traveling Salesman Problem, Proc. Am. Math. Soc., 7.

LAPORTE, G. e NOBERT, Y. (1980), Rotating Schedules, European Journal of Operational Research, 4, 24-30.

LIN, S. e KERNIGHAN, B. (1973), An Effective Heuristic Algorithm for the Traveling Salesman Problem, Operations Research, 21, 498-516.

LUEDTKE, L. (1985), RUCUS II: A Review of System Capabilities, Computer Scheduling of Public Transport 2, ed. J.-M. Rousseau, North-Holland.

MARTELLO, S. e TOTH, P. (1987), Linear Assignment Problems, Annals of Discrete Mathematics, 31, 259-282.

PAIXÃO, J.P. e PATO, M.V. (1984), Escalonamento Ótimo de Pessoal Sujeito a Horários Cíclicos, Nota nº 4/84, Centro de Estatística e Aplicações da Universidade de Lisboa.

PICCIONE, C. , CHERICI, A. , BIELLI, M. e LA BELLA, A. (1981), Practical Aspects in Automatic Crew Scheduling, Computer Scheduling of Public Transport, ed. A. Wren, North-Holland.

PIERICK, K. (1985), Interactive Information Processing Systems for the Management of Local Public Transport, Computer Scheduling of Public Transport 2, ed. J.-M. Rousseau, North-Holland.

ROUSSEAU, J.-M. (Ed.) (1985), Computer Scheduling of Public Transport 2, North-Holland.

ROUSSEAU, J.-M. e BLAIS, J.-Y. (1985), HASTUS: An Interactive System for Buses and Crew Scheduling, Computer Scheduling of Public Transport 2, ed. J.-M. Rousseau, North-Holland.

SCHMIDT, J.W. e FENNESSY, R.J.(1981), Automating Extraboard Assignments and Coach Operator Timekeeping, Computer Scheduling of Public Transport, ed. A. Wren, North-Holland.

SHEPARDSON, F. (1985), Modelling the Bus Crew Scheduling Problem, Computer Scheduling of Public Transport 2, ed. J.-M. Rousseau, North-Holland.

SOUSA, J.P.(1986), Um Sistema de Apoio à Decisão para a Elaboração de Horários de Viaturas e Tripulações em Serviços de Transportes Colectivos Urbanos, Dissertação apresentada ao Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa para a concessão do grau de Mestre em I.O. e E.S..

SOUSA, J.P. e GUIMARÃES, R.C. (1986), A Decision Support System for Vehicle and Crew Scheduling in Urban Transport Services, O.R. Models in Microcomputers, eds. J.D. Coelho e L.V. Tavares, North-Holland.

TOWNSEND, W. (1986), An Application of the Assignment Model to Bus Crew Rostering, IMA Journal of Mathematics in Management, 1, 45-52.

WALLIS, H. (1985), Experiences in Computer Assisted Scheduling Installations in North America, Computer Scheduling of Public Transport 2, ed. J.-M. Rousseau, North-Holland.

WILLIAMSON, R.H. (1985), BUSMAN: The United Kingdom's Integrated Approach to Transit Scheduling, Computer Scheduling of Public Transport 2, ed. J.-M. Rousseau, North-Holland.

WREN, A. (Ed.) (1981), Computer Scheduling of Public Transport, North-Holland.



ANEXO**GRUPO 1**

NUMERO DO SERVIÇO	de 2ª a 6ª feira		sábado		domingo	
	Hora de início	Hora de fim	Hora de início	Hora de fim	Hora de início	Hora de fim
1	05:50	12:58	06:05	12:45	—	—
2	12:58	20:37	—	—	—	—
3	06:23	15:30	—	—	—	—
4	06:10	13:28	—	—	—	—
5	13:28	21:23	—	—	—	—
6	06:08	12:30	—	—	—	—
7	13:45	20:53	12:45	21:48	14:00	21:03
8	06:50	13:24	06:53	13:25	07:20	14:00
9	13:24	21:08	13:25	21:03	13:20	21:48
10	06:00	13:45	—	—	—	—

GRUPO 2

NUMERO DO SERVIÇO	de 2ª a 6ª feira		sábado		domingo	
	Hora de início	Hora de fim	Hora de início	Hora de fim	Hora de início	Hora de fim
1	06:00	13:25	06:00	12:42	06:45	12:58
2	05:13	11:55	05:28	12:00	06:43	13:13
3	15:30	22:13	15:18	22:21	13:27	22:05
4	14:30	21:30	12:00	18:43	12:58	21:38
5	06:08	12:55	06:30	13:03	07:08	13:43
6	12:55	19:55	—	—	—	—
7	05:15	12:35	—	—	07:30	13:58
8	15:00	21:58	13:03	21:55	15:13	21:55
9	13:05	20:13	—	—	13:13	19:58
10	05:42	13:05	—	—	—	—
11	05:38	12:25	05:58	12:28	07:15	13:28
12	15:25	22:23	12:42	22:05	16:20	22:43
13	14:55	21:00	12:28	18:42	13:58	21:35

GRUPO 3

NUMERO DO SERVIÇO	de 2ª a 6ª feira		sábado		domingo	
	Hora de início	Hora de fim	Hora de início	Hora de fim	Hora de início	Hora de fim
1	05:32	13:20	06:05	13:29	06:10	13:42
2	04:30	11:30	04:30	11:29	—	—
3	15:00	22:30	12:44	22:18	—	—
4	13:20	21:07	—	—	13:36	20:28
5	05:40	13:20	06:49	14:03	—	—
6	05:02	12:15	05:36	12:44	06:55	13:36
7	13:15	22:15	13:26	20:06	15:34	22:15
8	12:40	20:20	11:29	17:46	12:15	19:15
9	05:20	14:20	04:55	12:14	04:30	11:58
10	14:20	21:45	13:42	20:33	13:42	21:08
11	06:20	15:00	—	—	06:34	13:16
12	05:37	12:20	07:19	14:06	—	—
13	13:20	21:18	12:14	19:53	13:16	20:08
14	05:50	13:15	06:20	13:42	—	—
15	15:55	22:15	—	—	—	—
16	15:15	21:45	13:29	21:35	11:58	18:38
17	06:25	12:40	—	—	—	—

GRUPO 4

NUMERO DO SERVIÇO	de 2ª a 6ª feira		sábado		domingo	
	Hora de início	Hora de fim	Hora de início	Hora de fim	Hora de início	Hora de fim
1	05:43	12:40	06:04	13:14	06:20	13:15
2	12:40	21:10	13:27	21:22	12:30	21:20
3	06:15	13:30	06:18	13:53	—	—
4	13:30	21:03	13:14	21:07	13:10	20:55
5	06:10	13:10	06:30	13:27	—	—
6	13:10	21:38	13:15	21:43	13:00	21:43
7	06:51	15:13	—	—	—	—
8	05:35	12:30	05:54	13:15	05:50	12:45
9	12:30	19:28	13:00	19:57	12:15	19:10
10	05:45	13:00	05:42	13:00	—	—
11	13:00	20:38	13:30	21:20	—	—
12	06:05	12:48	—	—	—	—
13	12:50	21:17	—	—	14:25	21:20
14	06:35	13:18	06:40	13:31	—	—
15	13:18	21:37	12:39	21:42	12:45	21:48
16	06:38	15:33	—	—	—	—
17	05:13	12:10	05:20	12:39	05:20	12:15
18	12:10	19:40	—	—	—	—
19	05:53	12:50	05:56	13:30	—	—
20	15:18	21:58	15:12	21:58	13:15	21:58
21	06:55	15:43	—	—	—	—
22	12:48	19:20	—	—	—	—

GRUPO 5

NUMERO DO SERVIÇO	de 2ª a 6ª feira		sábado		domingo	
	Hora de início	Hora de fim	Hora de início	Hora de fim	Hora de início	Hora de fim
1	05:55	13:10	06:30	13:48	06:00	13:20
2	13:30	20:58	—	—	13:44	21:54
3	05:58	13:25	—	—	06:23	13:36
4	13:45	21:08	—	—	13:56	20:54
5	06:27	13:03	—	—	06:55	13:12
6	16:08	22:25	15:58	22:10	—	—
7	07:00	13:33	—	—	07:07	13:32
8	12:53	20:50	—	—	—	—
9	05:43	13:15	—	—	05:55	12:56
10	15:08	22:04	13:00	21:50	13:08	22:05
11	06:43	13:18	06:50	13:41	—	—
12	13:08	20:36	—	—	—	—
13	06:13	13:55	06:30	13:21	06:30	14:08
14	14:00	21:23	—	—	—	—
15	06:17	13:48	—	—	06:11	13:24
16	14:10	21:42	13:28	21:50	—	—
17	06:26	13:00	06:50	14:01	—	—
18	13:40	22:07	12:53	22:13	—	—
19	06:49	13:23	—	—	—	—
20	16:23	22:40	14:08	21:04	—	—
21	13:10	21:32	13:48	19:48	13:20	21:32
22	06:00	13:30	—	—	07:19	13:44
23	13:25	21:07	—	—	14:44	22:05
24	06:10	13:45	—	—	06:20	13:56
25	13:03	20:52	13:50	21:30	13:24	22:35
26	07:02	13:38	—	—	—	—
27	13:33	21:10	—	—	13:32	21:53
28	06:18	12:53	—	—	—	—
29	15:45	22:10	13:06	19:31	12:56	19:48
30	06:32	12:38	—	—	06:47	13:08
31	13:18	20:55	15:41	22:05	—	—
32	05:53	13:08	—	—	—	—
33	13:55	21:32	13:21	21:32	14:08	21:16
34	06:20	14:00	—	—	—	—
35	13:48	21:25	13:20	21:00	13:36	21:30
36	06:21	14:10	06:38	13:28	—	—
37	13:00	21:58	14:01	21:58	—	—
38	06:53	13:40	—	—	—	—
39	13:23	20:51	—	—	—	—
40	06:12	13:53	06:55	14:08	—	—





FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

BIBLIOTECA



0000023473