

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**DESENVOLVIMENTO DE MÉTODO DE  
PLANEJAMENTO E PROGRAMAÇÃO DE  
OPERAÇÕES DE PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS**

**Fabiane Ely**

**Porto Alegre, 2002**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**DESENVOLVIMENTO DE MÉTODO DE PLANEJAMENTO E  
PROGRAMAÇÃO DE OPERAÇÕES DE PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS**

**Fabiane Ely**

**Orientador: Professor Flávio Sanson Fogliatto, Ph.D.**

**Banca Examinadora:**

**Leonardo Junqueira Lustosa, Ph.D.  
Prof. Depto de Engenharia Industrial / PUC-Rio**

**Leonardo Rocha de Oliveira, Ph.D.  
Prof. Escola de Administração / PUCRS**

**Cláudio Walter, Dr.  
Prof. PPGEP / UFRGS**

**Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de  
Produção como requisito parcial à obtenção do título de  
MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**Área de concentração: Gerência da Produção**

**Porto Alegre, Dezembro de 2002.**

**Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.**

---

**Prof. Flávio Sanson Fogliatto, Ph.D.**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Orientador

---

**Prof. Dr. José Luis Duarte Ribeiro.**

Coordenador PPGEP/UFRGS

**Banca Examinadora:**

**Leonardo Junqueira Lustosa, Ph.D.**

Prof. Depto de Engenharia Industrial / PUC-Rio

**Leonardo Rocha de Oliveira, Ph.D.**

Prof. Escola de Administração / PUCRS

**Cláudio Walter, Dr.**

Prof. PPGEP / UFRGS

## **AGRADECIMENTOS**

Muitas pessoas tiveram papel fundamental no decorrer do desenvolvimento deste trabalho e é para elas que direciono meus sinceros agradecimentos.

Agradeço especialmente ao Professor Flávio Sanson Fogliatto, orientador deste trabalho, que com sua dedicação e objetividade colaborou para eu percorresse esta jornada com clareza e motivação.

Agradeço aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção pelo aprendizado que me proporcionaram, bem como aos colegas com os quais compartilhei agradáveis momentos de trabalho e amizade.

Agradeço também aos profissionais da empresa onde desenvolvi este trabalho por me proporcionarem esta oportunidade e colaborarem para o meu crescimento profissional. Por fim, dedico este trabalho aos meus pais e irmão, que me concederam o apoio, compreensão e incentivo, fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

## ÍNDICE

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>7</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>8</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>9</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>10</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
1.1 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO.....	14
1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO .....	14
1.2.1 <i>Objetivo principal.....</i>	<i>14</i>
1.2.2 <i>Objetivos específicos .....</i>	<i>15</i>
1.3 METODOLOGIA .....	15
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	20
1.5 LIMITAÇÕES.....	21
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>23</b>
2.1 PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO NA MANUFATURA .....	23
2.1.1 <i>Planejamento agregado da produção (APP) com planejamento de recursos (RP).....</i>	<i>26</i>
2.1.2 <i>Plano mestre de produção (MPS) com planejamento aproximado da capacidade (RCCP).....</i>	<i>28</i>
2.1.3 <i>Planejamento das necessidades de material (MRP) .....</i>	<i>32</i>
2.1.4 <i>Planejamento das necessidades de capacidade (CRP) .....</i>	<i>38</i>
2.1.5 <i>Programação da produção (PS) .....</i>	<i>43</i>
2.2 PLANEJAMENTO DA PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS .....	53
2.2.1 <i>Gerenciamento da demanda .....</i>	<i>55</i>
2.2.2 <i>Gerenciamento do fornecimento .....</i>	<i>56</i>
2.2.3 <i>Planejamento agregado da mão-de-obra.....</i>	<i>57</i>
2.2.4 <i>Programação de curto prazo.....</i>	<i>59</i>
2.2.5 <i>Considerações gerais .....</i>	<i>69</i>
2.3 GERENCIAMENTO DE PROJETOS .....	70
2.3.1 <i>PERT/CPM – capacidade infinita .....</i>	<i>71</i>
2.3.2 <i>Técnicas de gerenciamento de projetos com capacidade finita .....</i>	<i>77</i>
<b>3 MÉTODO .....</b>	<b>81</b>
3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	81
3.2 PLANEJAMENTO DE SERVIÇOS .....	83
3.3 PROGRAMAÇÃO DE SERVIÇOS .....	90
3.3.1 <i>Priorização dos serviços .....</i>	<i>96</i>

3.3.2 <i>Divisão da capacidade demandada pelos serviços entre os funcionários e divisão das fases em etapas</i> .....	97
3.3.3 <i>Definição dos funcionários que executarão os serviços</i> .....	99
3.3.4 <i>Alocação das reservas de capacidade para serviços emergenciais</i> .....	104
3.3.5 <i>Geração do cronograma de serviços</i> .....	106
<b>4 VALIDAÇÃO PRÁTICA DO MÉTODO</b> .....	<b>109</b>
4.1 ADAPTAÇÕES DO MÉTODO .....	110
4.2 DADOS DE ENTRADA .....	112
4.3 PLANEJAMENTO DAS OBRAS .....	118
4.4 PROGRAMAÇÃO DAS OBRAS .....	121
4.5 COMENTÁRIOS .....	124
<b>5 CONCLUSÕES E FUTUROS DESENVOLVIMENTOS</b> .....	<b>130</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>133</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>138</b>

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- PLANEJAMENTO DA CAPACIDADE NO SISTEMA DE PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO (ADAPTADA DE VOLLMAN <i>ET AL.</i> , 1997). .....	24
FIGURA 2 – ALOCAÇÃO DAS OPERAÇÕES AO LONGO DO TEMPO COM <i>LEAD TIME</i> IGUAL A 1 (ADAPTADA DE VOLLMAN <i>ET AL.</i> , 1997). .....	31
FIGURA 3- COMPARAÇÃO DA CAPACIDADE DISPONÍVEL × DEMANDADA EM UM CENTRO DE TRABALHO. ....	39
FIGURA 4 – ILUSTRAÇÃO DO PROBLEMA DO SEQÜENCIAMENTO. ....	42
FIGURA 5 – REPRESENTAÇÃO DE REDES DE TRABALHO (ADAPTADA DE KRAJEWSKI & RITZMAN, 1999). .....	71
FIGURA 6 – FASES DE UM SERVIÇO .....	82
FIGURA 7 – FASES DE UM SERVIÇO COM DIFERENTES NÚMEROS DE FUNCIONÁRIOS. ....	83
FIGURA 8 – INTERAÇÃO ENTRE PROGRAMAÇÃO DE SERVIÇOS E PROGRAMAÇÃO DE MATERIAIS. ....	91
FIGURA 9 – CALENDÁRIO CONSIDERADO NA VALIDAÇÃO. ....	112
FIGURA 10 – GRÁFICO APRESENTANDO RELAÇÃO ENTRE CAPACIDADE DEMANDADA X DISPONÍVEL.....	121

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – TABELA DE CÁLCULO DE TEMPO DE FABRICAÇÃO (ADAPTADA DE VOLLMAN <i>ET AL.</i> , 1997). .....	30
TABELA 2 – PLANILHA DO MRP. ....	37
TABELA 3 – COMPARAÇÃO DA CAPACIDADE DISPONÍVEL × DEMANDADA EM UM CENTRO DE TRABALHO. ....	39
TABELA 4 – CAPACIDADE DISPONÍVEL EM CADA PERÍODO $P$ [* ONDE $C_p$ É CALCULADO CONFORME EQUAÇÃO (76) E SUA UNIDADE É HORAS]. ....	113
TABELA 5 – CAPACIDADES DISPONÍVEIS. ....	113
TABELA 6 – GRAU DE IMPORTÂNCIA DAS OBRAS. ....	114
TABELA 7 – DADOS REFERENTES A OBRAS EM ESTADO ESTIMADO. ....	114
TABELA 8 - DADOS REFERENTES A OBRAS EM ESTADO PREVISTO. ....	114
TABELA 9 - DADOS REFERENTES A OBRAS EM ESTADO PROGRAMADO. ....	115
TABELA 10 – VALORES DE $Cd_{ip}$ (EM HORAS). ....	117
TABELA 11 – MATRIZ DE COMPATIBILIDADE ENTRE REGIÕES. ....	118
TABELA 13 – RESERVA DE CAPACIDADE ATUALIZADAS (EM HORAS). ....	118
TABELA 14 – RESULTADO FINAL DO PLANEJAMENTO. ....	120
TABELA 15 – DIVISÃO DA RESERVA DE CAPACIDADE MENSAL PARA OBRAS EMERGENCIAIS EM SEMANAS. ....	123
TABELA 16 - CRONOGRAMA DE OBRAS DA EQUIPE 1. ....	125
TABELA 17 – CRONOGRAMA DE OBRAS DA EQUIPE 2. ....	126
TABELA 18 - CRONOGRAMA DE OBRAS DA EQUIPE 3. ....	127

## **RESUMO**

Este trabalho pretende contribuir com questões relacionadas ao planejamento e programação de operações de prestação de serviços. Seu enfoque é nos bastidores das operações de serviços, onde ocorre o fluxo de materiais e são observadas características similares às da manufatura. Ainda assim, algumas características específicas das operações de serviços influenciam o processo a ser planejado. O tema desta dissertação consiste na definição de um método de planejamento e programação das operações dos bastidores de empresas prestadoras de serviço. Este método engloba conceitos utilizados tanto na manufatura quanto nos serviços. Na etapa inicial do trabalho, é apresentada uma revisão bibliográfica sobre planejamento da produção na manufatura, planejamento da prestação de serviços e gerenciamento de projetos. Na etapa seguinte, apresenta-se um método de planejamento e programação para operações dos bastidores de empresas prestadoras de serviço. A etapa final apresenta a validação prática do método proposto em uma empresa do setor elétrico que atua no segmento de distribuição de energia.

## **ABSTRACT**

This thesis deals with questions regarding planning and programming of service operation systems. It focuses on service back office operations, where the materials flow and characteristics are similar to manufacturing. Despite such similarities, some particular characteristics of the operation service can determine its planning. The purpose of this thesis is to define a planning and programming method applicable to service companies back office operations. The method involves concepts that are used in manufacturing as well as in service planning. Initially, concepts about production planning and control, service and project management are revised. Next, the proposed method for planning and programming of service back office operations is presented. Finally, we report a case study in an energy distribution company where the method is tested.

# CAPÍTULO 1

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos 30 anos, o setor de serviços cresceu rapidamente, sendo considerado o centro das atividades econômicas de grande parte dos países, principalmente os de economia industrializada. No Brasil, o setor de serviços está passando por um processo contínuo de redefinição de seu ambiente e práticas (Téboul, 1999; Gianesi & Corrêa, 1994).

A classificação de uma empresa na categoria de serviço ou manufatura é considerada um tanto simplista e muitas vezes inconsistente. O que normalmente se encontra são empresas que oferecem tanto serviços como produtos. Um serviço de *fast food*, por exemplo, necessita de refeições, que são consideradas produtos. Já um computador pode possuir um serviço de assistência técnica durante a venda, a qual se caracteriza como um serviço. Assim sendo, torna-se mais adequado classificar as operações de uma empresa como operações de serviço ou manufatura, ao invés de tentar estender a classificação às próprias empresas (Téboul, 1999; Gianesi & Corrêa, 1994; Fitzsimmons & Fitzsimmons, 1998).

Quando da análise do sistema de operações de serviço, o conceito de proscênio e de bastidores é de fundamental importância. No proscênio (conhecido também por *front office* ou linha de frente) existe a interação direta com o cliente. O proscênio, assim, engloba a parcela de operações que possui alto contato com o cliente. Nos bastidores (conhecido também como *back office* ou retaguarda) encontram-se as atividades que dão suporte ao serviço, onde o cliente tem pouco ou nenhum acesso. Em um restaurante, por exemplo, a cozinha é considerada como parte dos bastidores, enquanto o salão onde são realizadas as refeições é o proscênio. No proscênio ocorre o processo de entrega do

serviço ao cliente, enquanto nos bastidores ocorrem as transformações físicas (Téboul, 1999; Gianesi & Corrêa, 1994; Fitzsimmons & Fitzsimmons, 1998).

As principais características que diferenciam as operações do proscênio e dos bastidores são apresentadas no Quadro 1. Essas diferenças evidenciam a necessidade de gestões distintas, conforme o tipo de operações. Da mesma forma, salienta-se a oportunidade de aplicações de técnicas de manufatura nas operações realizadas nos bastidores (Téboul, 1999; Fitzsimmons & Fitzsimmons, 1998).

<b>Proscênio</b>	<b>Bastidores</b>
Intangíveis	Tangíveis
Necessidade da presença do cliente ou de um bem de sua propriedade	Não necessita presença do cliente ou de um bem de sua propriedade
Produção e consumo são simultâneos	Produção e consumo não são simultâneos

Quadro 1 – Principais características que diferenciam as atividades do proscênio e dos bastidores (adaptado de Gianesi & Corrêa, 1994).

A característica de produção e consumo simultâneo no proscênio impede a formação de estoques de serviços. Já nos bastidores, a presença de transformação física e não simultaneidade do consumo e produção, possibilita, em certos casos, a formação de estoques. Desta forma, a gestão de estoque nos bastidores deve ser considerada (Téboul, 1999).

Na manufatura, um dos sistemas mais usados na gestão de estoques é o Planejamento das Necessidades de Materiais (MRP - *Material Requirements Planning*). O MRP faz o planejamento de todos os itens necessários para a fabricação dos produtos finais, definindo a data de liberação de ordens de compra ou fabricação da cada item, bem como a data de entrega. O MRP é rodado considerando o estoque disponível de cada item (Bonney, 2000; Vollman *et al.*, 1997; Krajewski & Ritzman, 1999; Elsayed & Boucher, 1994). A verificação da capacidade para execução do planejamento feito pelo MRP é realizada no Planejamento das Necessidades de Capacidade (CRP - *Capacity Requirements Planning*). O CRP verifica a capacidade demandada por cada item planejado no MRP. O CRP, entretanto, apenas verifica a capacidade, deixando a cargo do planejador os ajustes necessários quando a capacidade demandada supera a disponível (Wortman *et al.*, 1996; Vollman *et al.*, 1997). Para o seqüenciamento das

ordens de fabricação, é realizada a programação da produção (PS – *Production Scheduling*). Na PS definem-se os momentos de início e término de cada ordem de fabricação em cada operação em que ela necessita ser processada, considerando da capacidade produtiva de cada operação (Vollman *et al.*, 1997).

Os serviços, por possuírem características peculiares entre si, podem apresentar diferentes formas de gerenciamento da capacidade, onde procura-se gerenciar a demanda ou o fornecimento. No gerenciamento da demanda, procura-se influenciá-la de forma que ocorra nos momentos em que o fornecedor esteja ocioso ou colocá-la em fila de espera. No gerenciamento do fornecimento, procura-se ajustar a capacidade de fornecimento de serviço à demanda, através de horas extras, contratações e demissões, turnos diferenciados, etc (Fitzsimmons & Fitzsimmons, 1998; Téboul, 1999).

Outra forma de gerenciamento, utilizada tanto na manufatura como nos serviços, é o gerenciamento de projetos. O gerenciamento de projetos envolve a coordenação de atividades, pessoas, organizações e outros recursos, de forma a atingir as metas especificadas. A técnica mais conhecida para gerenciamento de projetos é o PERT/CPM, que define as datas mais cedo e mais tarde que cada atividade deve ser iniciada e concluída para que se entregue o produto ou serviço na data determinada (Krajewski & Ritzman, 1999; Elsayed & Boucher, 1994).

O tema desta dissertação consiste na definição de um método de planejamento e programação das operações dos bastidores de empresas prestadoras de serviço. Este método engloba conceitos utilizados tanto na manufatura quanto nos serviços. Enquanto a programação de materiais é feita utilizando a lógica do MRP, a programação das atividades considera algumas características específicas da prestação de serviços.

O método proposto foi aplicado em uma empresa do setor elétrico que atua no segmento de distribuição de energia. Nos bastidores desta empresa ocorre a execução de obras de investimento e manutenção (preventiva e emergencial) nas redes de distribuição de energia. A validação prática do método proposto é executada através do planejamento e programação das obras a serem executadas em uma determinada região atendida pela distribuidora, num determinado horizonte de tempo.

## **1.1 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO**

Na análise do setor de serviços, verifica-se a diversidade de serviços oferecidos e uma grande quantidade de problemas de gerenciamento que os acompanha. Mesmo com o crescimento da importância deste setor, existe um número relativamente pequeno de estudos sobre o mesmo, com muitos aspectos ainda por serem investigados (Téboul, 1999). Desta forma, trabalhos que possam contribuir para o melhor entendimento do setor se fazem necessários.

Por outro lado, manter um fluxo eficiente de materiais e serviços é fundamental para obter-se operações rentáveis (Krajewski & Ritzman, 1999). O planejamento da produção visa a alocação efetiva dos recursos disponíveis de modo a atender as necessidades de produção dos produtos ou serviços demandados (Carvalho *et al.*, 1998). Assim, a eficiência das operações está muito ligada ao planejamento.

Este trabalho pretende contribuir com questões relacionadas ao planejamento e programação de operações de prestação de serviço. Como o enfoque do trabalho é nos bastidores das operações de serviço, onde geralmente ocorre o maior fluxo de materiais, características similares as da manufatura são observadas. Ainda assim, algumas características específicas das operações de serviços influenciam o processo a ser planejado. Apesar do planejamento de fluxo de materiais ser um assunto bastante comentado na literatura, pouco se discute sobre a influência das características do serviço neste planejamento e os problemas que ele impõe. Este trabalho propõe-se a apresentar um método de planejamento e programação que considere algumas características típicas das operações de serviços, tais como compartilhamento de recursos entre atividades de emergência e atividades programáveis, e deslocamento de recursos para atendimento dos diferentes serviços.

## **1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO**

### **1.2.1 Objetivo principal**

O objetivo principal deste trabalho é apresentar um método de planejamento e programação para operações dos bastidores de empresas prestadoras de serviço que possibilite uma maior coordenação das atividades executadas ao longo do processo da prestação dos serviços.

## **1.2.2 Objetivos específicos**

Os objetivos específicos são:

1. Revisar a bibliografia sobre planejamento e programação de operações.
2. Desenvolver um método de planejamento de operações de empresas prestadoras de serviço que permita:
  - Suavizar as flutuações de demanda;
  - Prever períodos de pico de demanda.
3. Desenvolver um método de programação de operações de empresas prestadoras de serviço que permita:
  - A visualização das operações a serem executadas em futuro próximo;
  - A coordenação das operações ao longo do processo de prestação dos serviços.
4. Aplicar a sistemática proposta em uma empresa do setor elétrico, que atua no segmento de distribuição de energia.

## **1.3 METODOLOGIA**

O método de pesquisa utilizado é o de pesquisa-ação. Neste método, as pessoas ou grupos implicados no problema participam, juntamente com os pesquisadores, na elucidação da realidade, na identificação dos problemas e na busca e experimentação de soluções. Os pesquisadores, por outro lado, possuem um papel ativo no equacionamento dos problemas, no acompanhamento e na avaliação das ações orientadas à solução dos problemas encontrados (Thiollent, 1997; 1998).

Os principais aspectos que caracterizam a pesquisa-ação são (Thiollent, 1998):

- Ampla e explícita interação entre pesquisadores e pessoas ou grupos envolvidos na situação observada.

- O resultado desta interação é a priorização dos problemas a serem pesquisados e das soluções que serão desencadeadas através de ações concretas.
- O objeto de investigação não é formado pelas pessoas, mas pela situação social e problemas de naturezas diversas, encontrados nesta situação.
- O objetivo é resolver ou, no mínimo, esclarecer os problemas da situação observada.
- Existe um acompanhamento das decisões, das ações e de toda a atividade intencional das pessoas envolvidas na situação, durante o processo de pesquisa.
- A pesquisa não deve limitar-se a ação, mas, sim, deve aumentar o conhecimento dos pesquisadores e o conhecimento ou “nível de consciência” das pessoas envolvidas.

O processo de pesquisa-ação não é totalmente padronizado; ou seja, não segue fases de pesquisa rigidamente definidas. Conforme o contexto em que a pesquisa-ação é inserida, os procedimentos, a ordenação das fases e o grau de implicação das pessoas envolvidas podem variar. Em geral, os planejadores da pesquisa definem uma seqüência inicial de fases, que acaba sendo infringida devido a problemas imprevistos (Thiollent, 1998; 1997).

Baseando-se nas fases sugeridas por Thiollent (1997;1998), definiu-se 4 fases de pesquisa para este trabalho:

**Fase exploratória:** nesta fase são realizadas entrevistas e discussões em grupo de forma a identificar os problemas e suas causas. Dados são coletados para confirmar os problemas e suas causas. Os problemas identificados são priorizados e definem-se os objetivos e o escopo da pesquisa. Os resultados são apresentados e discutidos em seminários com grupos afetados pelos problemas encontrados.

A empresa em estudo atua no setor elétrico, mais especificamente no segmento de distribuição de energia. Para o fornecimento de energia, é necessário que a empresa execute obras de manutenção e investimento nas redes de distribuição de energia. Para

viabilizar a execução das obras, a empresa possui várias bases de operação distribuídas em diferentes cidades.

Quando surge a necessidade de uma obra, é feita uma análise de viabilidade técnica e econômica. Se a necessidade da obra for confirmada, o projeto é executado. Com o projeto executado, é realizado o orçamento da obra. No orçamento, todas as atividades necessárias para a execução da obra são detalhadas e as necessidades de materiais são definidas. Após a conclusão e aprovação do orçamento, é feita a liberação contábil de recurso para a obra. Com a liberação do recurso, é realizada a reserva de materiais. A reserva de materiais consiste na entrada de informações sobre a necessidade de materiais no sistema do departamento de suprimentos. Esse departamento possui um centro de estocagem onde é realizada a entrega de materiais pelos fornecedores, o controle de qualidade e a estocagem, para posterior distribuição destes materiais às bases de operação. As bases de operação possuem equipes que executam as obras e são gerenciadas por departamentos de operação. Cada departamento gerencia de 2 a 6 bases.

Obras de emergência, que devem ser atendidas no momento em que surge a necessidade, não passam pelo processo descrito acima. Para estas obras existe um estoque de materiais com ponto de reposição nas bases de operação. Assim que surge a necessidade, as equipes são acionadas e a obra é executada. O orçamento é feito após a execução da obra.

O problema que motivou o início deste trabalho foi levantado pelo departamento de suprimentos. Como esse departamento tem conhecimento das necessidades de materiais apenas no momento da reserva, o processo fica parado até que os materiais sejam entregues às bases de operação. O tempo de entrega de alguns materiais pelos fornecedores é bastante elevado (mais de 30 dias). A solução, portanto, seria ter estoque suficientemente grande para atender as necessidades. O departamento de suprimentos, entretanto, possui dificuldades em dimensionar um estoque economicamente viável que atenda as necessidades. Isto ocorre devido a grande diversidade de materiais e ao fato da demanda de materiais (baseada na reserva de materiais) possuir grandes flutuações, sem um padrão sistemático de variação ao longo do tempo.

Nesta situação, o departamento de suprimentos definiu uma meta de atendimento de materiais em, no máximo, 30 dias. Quando uma reserva de materiais é realizada, o sistema define a data de necessidade do material para a data da reserva mais 30 dias. Através do MRP, verifica-se a necessidade de compra de materiais. Quando existe a possibilidade de entrega do material antes da data de necessidade, a reserva é atendida.

Na procura pela causa das grandes flutuações e da ausência de um padrão sistemático da demanda, pode-se entender melhor os problemas do processo. A empresa possui uma fila de obras a serem executadas; ou seja, a demanda não é atendida assim que surge a necessidade, mas sim, entra para uma fila de espera. O orçamento anual da empresa, ou seja, quanto será gasto com obras durante o ano, tem sua aprovação final em dezembro ou início de janeiro. A liberação contábil de recurso para obras de um determinado ano só pode ser realizada após a aprovação final do orçamento anual. Assim que a aprovação ocorre, os departamentos de operação solicitam liberação de recursos para uma grande volume de obras, pois, sabendo do tempo solicitado por suprimentos para entrega de materiais, procuram garantir a entrega para 2 a 3 meses de obras. A contabilidade, por sua vez, possui alguns procedimentos a serem executados para liberação de recurso, ou seja, a liberação não é instantânea. Para a liberação deste grande volume de obras, é necessário que a contabilidade trabalhe no seu limite máximo de capacidade. Com a liberação de recursos são feitas as reservas, e agora é o departamento de suprimentos que possui um grande volume de materiais para atender. Para atender a esse volume, pagam-se horas-extras para o pessoal que trabalha no centro de estocagem e transportes especiais.

Entregues os materiais, as bases de operação possuem um enorme estoque de materiais, mas não possuem capacidade produtiva para consumi-los em poucos dias. Conforme a urgência das obras, duas possibilidades podem ser definidas: (i) equipes de outras empresas são contratadas para auxiliar na execução das obras, (ii) cancela-se a solicitação de liberação de recursos para obras até que o estoque seja consumido. Neste momento, a contabilidade e suprimentos passam por um período de baixa demanda.

Conforme os materiais são consumidos pelas bases de operação, novas reservas são realizadas. Essas reservas são feitas considerando os 30 dias de atendimento de suprimentos. Fatores como ocorrência de obras emergenciais ou chuvas podem fazer com que reservas de materiais sejam necessárias antes ou depois dos 30 dias. O

departamento de suprimentos, por sua vez, não enxergando os acontecimentos na ponta (bases de operação), procura atender as reservas o mais cedo possível. Essa situação traz como consequência falta ou excesso de materiais nas bases de operação. A falta de materiais faz com que mais reservas sejam feitas, para que não falte material em futuro próximo, causando um pico de demanda para a contabilidade e suprimentos. O excesso de materiais faz com que novas reservas não sejam solicitadas, causando período de baixa demanda para contabilidade e suprimentos.

Com a análise deste processo pode-se observar que a flutuação e a ausência de um padrão sistemático da demanda de materiais e de carga de trabalho são consequência do próprio processo da empresa, e não da demanda real por obras. Outro fato a ser observado é que existem informações suficientes para o departamento de suprimentos conhecer a demanda de materiais antes da reserva, o que permite uma maior agilidade no processo.

**Desenho da solução:** a partir dos problemas priorizados as alternativas de solução são buscadas. O desenho da solução é realizado através de discussões e entrevistas com diversos grupos abrangidos pelas possíveis soluções, de forma a identificar uma solução que seja viável e atenda as necessidades dos grupos no que diz respeito ao escopo da pesquisa. Dados também são coletados nesta fase para validar a efetividade das alternativas de solução. A solução encontrada é validada por todos os grupos envolvidos, podendo ter que ser redesenhada caso não ocorra a validação.

A partir da discussão dos problemas encontrados na primeira etapa do estudo, algumas soluções foram encaminhadas. Uma delas consiste no desenvolvimento e implementação de um sistema de planejamento e programação das obras. O planejamento tem como objetivo reduzir a flutuação da demanda ao longo do ano e identificar os meses em que realmente têm-se picos de demanda. A programação tem como objetivo definir um cronograma diário bimestral ou trimestral de obras, para que o departamento de suprimentos conheça a real data de necessidade de materiais.

Nesta dissertação é apresentado o método desenvolvido para o planejamento e programação de obras. O detalhamento deste método, ou seja, o desenho da solução, é apresentado no Capítulo 3.

**Implementação da solução:** num primeiro momento define-se como será implementada a solução, ou seja, faz-se um planejamento de implementação. Antes da total implementação pode-se realizar, por exemplo, testes-piloto. Eventuais ajustes na solução podem ser realizados nesta fase.

Esta é a fase em que o projeto se encontra no momento, não sendo, portanto, apresentada neste trabalho. O mesmo ocorre com a etapa seguinte.

**Avaliação dos resultados:** nesta fase, avalia-se a efetividade das soluções implementadas na resolução dos problemas e suas conseqüências. Da mesma forma, avaliam-se os conhecimentos obtidos e ensinamentos decorrentes do desenvolvimento da pesquisa.

## **1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

A dissertação está estruturada em cinco capítulos, com um resumo de assuntos apresentado na seqüência.

No Capítulo 1, é apresentado o tema a ser abordado, as justificativas para a escolha deste tema, os objetivos pretendidos, a metodologia adotada e a estrutura e limitações do trabalho.

No Capítulo 2, é apresentada uma revisão bibliográfica dos assuntos que tangem o estudo a ser realizado.

No Capítulo 3, é proposto o método para a elaboração do planejamento e programação na empresa em estudo.

No Capítulo 4, é apresentada uma validação prática do método em uma empresa do setor elétrico, que atua no segmento de distribuição de energia.

No Capítulo 5, a dissertação é finalizada com conclusões e sugestões de futuros desenvolvimentos do trabalho.

## 1.5 LIMITAÇÕES

A dissertação possui algumas limitações:

- Apenas as duas primeiras fases metodológicas são apresentadas neste trabalho, ou seja, a fase exploratória e o desenho da solução. Isto porque as outras duas fases (implementação da solução e avaliação dos resultados) ainda não foram concluídas.
- Na revisão bibliográfica não é detalhado o funcionamento de métodos complexos de programação da produção, tais como algoritmos genéticos, *branch and bound*, *beam search*, *tabu search*, *simulated annealing*.
- O estudo é realizado em uma empresa específica do setor elétrico do segmento de distribuição de energia. Portanto, os resultados obtidos consideram a realidade desta empresa, existindo a possibilidade de serem ampliados a outras empresas, caso novos estudos sejam desenvolvidos.
- A apresentação do método desenvolvido baseia-se no fluxo normal do processo. O tratamento desenvolvido para exceções, ou seja, casos especiais que ocorrem na empresa em estudo, não é apresentado.
- Não serão apresentados detalhes de realimentação de dados no método proposto, devido à extensão que o trabalho pode adquirir caso estes sejam apresentados.
- A programação de materiais do método proposto é baseada na lógica do MRP e, portanto, não será detalhada na apresentação do método, visto que o MRP é um método amplamente conhecido e detalhadamente apresentado na revisão bibliográfica deste trabalho.
- As operações de execução de obras são executadas por equipes de bases de operação geograficamente dispersas pela área de atuação da empresa. Na apresentação do estudo de caso, apenas uma base de operação é considerada, já que o método utilizado é idêntico para as demais.
- No Capítulo 4, os dados reais da empresa foram manipulados de forma a manter o sigilo de algumas informações sem, contudo, prejudicar a validação prática do método.

- O estudo não inclui uma análise financeira do investimento necessário para a implementação do método proposto.

# CAPÍTULO 2

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é apresentado um resumo dos fundamentos teóricos referentes ao tema desta dissertação. Estes fundamentos estão divididos em três grandes tópicos: planejamento da produção na manufatura, planejamento da prestação de serviços e gerenciamento de projetos.

### 2.1 PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO NA MANUFATURA

São os recursos do sistema produtivo que possibilitam a transformação de insumos em produtos acabados (Carvalho *et al.*, 1998). Desta forma, o planejamento da produção só resulta viável se tais recursos e, principalmente, sua capacidade produtiva forem considerados (Wiendahl, 1995).

O planejamento da produção visa a alocação efetiva dos recursos disponíveis de modo a atender as necessidades de produção dos produtos demandados. Tais produtos provêm de pedidos dos clientes e de previsão de demanda. Os pedidos dos clientes consistem em pedidos já efetuados, que certamente se realizarão, e que afetam diretamente o planejamento da produção de curto prazo. A previsão de demanda consiste na previsão de pedidos ainda não efetuados, que podem ou não se realizar e que afetam diretamente o planejamento da produção em mais longo prazo. Fica claro, neste contexto, a incerteza associada à demanda; tal incerteza é função do tempo ou horizonte de planejamento considerado. O grau de incerteza das informações de demanda faz com que o planejamento da produção seja feito hierarquicamente, com um baixo nível de detalhamento das informações no planejamento de longo prazo, e um nível de detalhamento progressivamente crescente, conforme a aproximação com o curto prazo (Carvalho *et al.*, 1998).

Em cada etapa do planejamento da produção, considera-se a capacidade produtiva, para garantir a viabilidade do planejamento proposto. Na Figura 1 pode-se observar as etapas do planejamento da produção de forma hierárquica. Estas etapas são divididas em longo, médio e curto prazo, com o grau de detalhamento das informações aumentando em cada etapa, respectivamente (Vollman *et al.*, 1997; Wortman *et al.*, 1996).

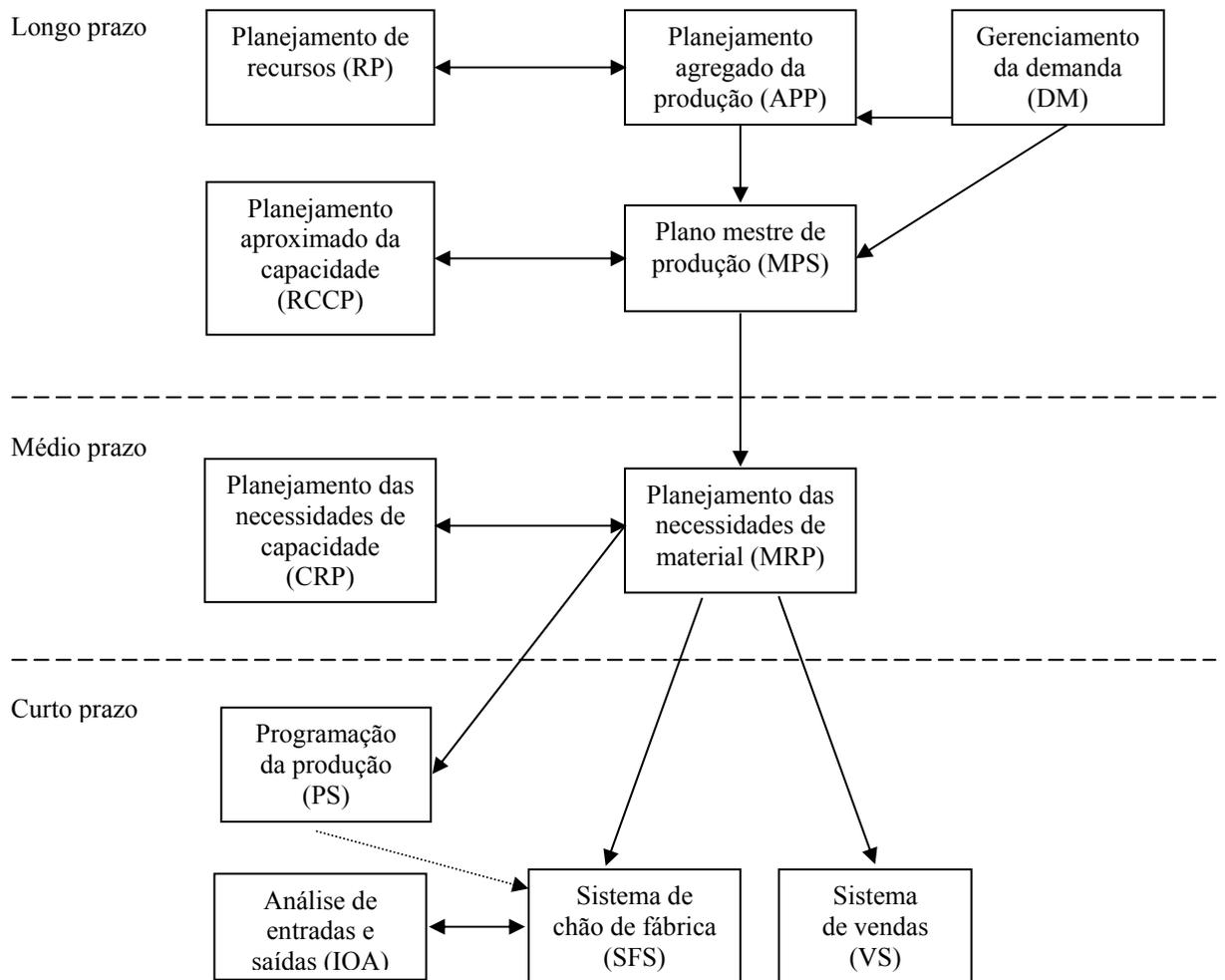


Figura 1- Planejamento da capacidade no sistema de planejamento e controle da produção (adaptada de Vollman *et al.*, 1997).

No longo prazo, é feito primeiramente o Planejamento Agregado da Produção (APP – *Aggregate Production Planning*), em paralelo com a verificação da capacidade através do Planejamento de Recursos (RP – *Resource Planning*). No APP, os diferentes tipos de produtos são agregados em famílias. Por exemplo, no planejamento da produção de cadeiras, diferentes modelos de cadeiras que utilizam recursos de fabricação similares, são considerados em um grupo único (a “família” de cadeiras). O

RP, por sua vez, também considera a produção agregada (Vollman *et al.*, 1997; Krajewski & Ritzman, 1999).

Em uma segunda etapa, é feito o Plano Mestre de Produção (MPS – *Master Production Schedule*), onde famílias serão desagregadas em diferentes tipos de produtos, definindo-se o *mix* de produção (quantidades dos produtos a serem manufaturados). O Planejamento Aproximado da Capacidade (RCCR – *Rough-Cut Capacity Planning*), que considera produtos desagregados, interage na definição do MPS (Wortman *et al.*, 1996; Vollman *et al.*, 1997; Verdaasdonk & Wouters, 1999).

No médio prazo, faz-se o planejamento detalhado da produção. O sistema mais usado nesta etapa é o Planejamento das Necessidades de Materiais (MRP - *Material Requirements Planning*). O MRP faz o planejamento de todos os itens necessários para a fabricação dos produtos finais do MPS, definindo a data de liberação de ordens de compra ou fabricação da cada item, bem como a data de entrega. O MRP é rodado considerando o estoque disponível de cada item (Bonney, 2000; Vollman *et al.*, 1997; Krajewski & Ritzman, 1999; Elsayed & Boucher, 1994). A verificação da capacidade para execução do planejamento feito pelo MRP é feita pelo Planejamento das Necessidades de Capacidade (CRP - *Capacity Requirements Planning*). O CRP verifica a capacidade demandada por cada item planejado no MRP. O CRP, entretanto, apenas verifica a capacidade, deixando a cargo do planejador os ajustes necessários quando a capacidade demandada supera a disponível (Wortman *et al.*, 1996; Vollman *et al.*, 1997).

No curto prazo, é realizada a programação da produção (PS – *Production Scheduling*). Na PS definem-se os momentos de início e término de cada ordem de fabricação em cada operação em que ela necessita ser processada. Isso é feito através do seqüenciamento das ordens de fabricação em cada operação e da consideração da capacidade produtiva de cada operação (Vollman *et al.*, 1997).

O planejamento gerado pelo MRP será executado pelo Sistema de Produção (SFS – *Shop-Floor Systems*), cuja capacidade já foi ajustada e as ordens de fabricação seqüenciadas pela PS. A Análise de Entradas e Saídas (IOA - *Input / Output Analysis*) permite o controle das condições da capacidade durante a execução do planejamento. Este controle é feito a partir de dados acumulados sobre a carga de capacidade que entra

no SFS, o montante que sai do sistema e a capacidade disponível. Estas informações indicam quando há necessidade de atualização do planejamento, bem como mudanças de fatores considerados no planejamento (Wortman *et al.*, 1996; Wiendahl, 1995; Vollman *et al.*, 1997).

Nesta seção são apresentados ainda os seguintes tópicos: planejamento agregado da produção com planejamento de recursos, plano mestre de produção com planejamento aproximado da capacidade, planejamento das necessidades de material, planejamento das necessidades de capacidade, e programação da produção.

### **2.1.1 Planejamento agregado da produção (APP) com planejamento de recursos (RP)**

O RP possui ligação direta com o APP e influenciará todas as etapas de planejamento subsequentes. No APP, tem-se a demanda agregada de produtos, gerada a partir de previsão da demanda e pedidos de cliente, para um horizonte tipicamente de planejamento de 1 a 2 anos, dividido geralmente em meses. Quando essa demanda é constante, o planejamento da produção é relativamente simples. Entretanto, quando ela é variável ao longo do tempo, possuindo alguns períodos onde a demanda é maior do que a capacidade e vice-versa, o planejamento torna-se complicado. Nesta situação, deve-se optar por políticas de produção tais como produzir para estoque em períodos de baixa demanda, efetuar contratações e demissões em períodos de baixa e alta demanda respectivamente, aumentar o nível de produção através de horas extras, ou, ainda, atrasar pedidos de clientes (Elsayed & Boucher, 1994; Vollman *et al.*, 1997; Bonney, 2000; Carvalho *et al.*, 1998; Crandall, 1998; Verdaasdonk & Wouters, 1999).

A decisão sobre a política de produção a ser adotada pode ser auxiliada por um algoritmo de otimização de programação linear. A modelagem do problema varia de acordo com as restrições e objetivos da empresa. Para exemplificar esta aplicação, será apresentada uma modelagem genérica que objetiva ajustar o nível do estoque, da força de trabalho e da produção para cada período, considerando a possibilidade de atraso de pedidos, afim de minimizar o custo de produção (Elsayed & Boucher, 1994; Crandall, 1998). As variáveis típicas do problema de capacidade que utiliza programação linear são apresentadas no Quadro 2. Na sequência, as variáveis são utilizadas na composição da função-objetivo e das restrições a serem utilizadas no problema de capacidade.

<b>Variáveis de decisão:</b>	
$P_t$	Quantidade produzida no período $t$ (unidade)
$I_t$	Inventário disponível no final do período $t$ (unidade)
$A_t$	Quantidade de produtos atrasados (unidade)
$Lr_t$	Tempo de trabalho regular no período $t$ (homem-hora)
$Lo_t$	Tempo de hora extra no período $t$ (homem-hora)
$l_t^+$	Quantidade de contratações do período $t+1$ para $t$ (homem-hora)
$l_t^-$	Quantidade de demissões do período $t+1$ para $t$ (homem-hora)
<b>Variáveis conhecidas:</b>	
$D_t$	Demanda prevista para o período $t$ (unidade)
$q$	Quantidade de trabalho demandado para produzir uma unidade (homem-hora/unidade)
$cu_t$	Custo unitário de produção no período $t$ (\$/unidade)
$h_t$	Custo unitário de estocagem do período $t$ até $t+1$ (\$/unidade)
$\pi_t$	Custo unitário de atraso de produtos do período $t$ até $t+1$ (\$/unidade)
$cr_t$	Custo de trabalho regular no período $t$ (\$/homem-hora)
$co_t$	Custo de hora extra no período $t$ (\$/homem-hora)
$cl_t$	Custo de contratação no período $t$ (\$/homem-hora)
$cl'_t$	Custo de demissão no período $t$ (\$/homem-hora)
$T$	Horizonte de planejamento

Quadro 2 – Variáveis do problema (Adaptada de Elsayed & Boucher, 1994)

**Função objetivo:**

$$\text{Minimizar } Z = \sum_{t=1}^T (cu_t P_t + cr_t Lr_t + co_t Lo_t + h_t I_t + \pi_t A_t + cl_t l_t^+ + cl'_t l_t^-)$$

**Restrições:**

$$P_t + I_{t-1} = D_t - A_t + I_t \quad (1)$$

$$Lr_t = Lr_{t-1} + l_t^+ - l_t^- \quad (2)$$

$$Lr_t + Lo_t \geq qP_t \quad (3)$$

**Não negatividade:**  $P_t, I_t, A_t, Lr_t, l_t^+, l_t^-, Lo_t \geq 0$

Na modelagem acima, a restrição (1) garante que a demanda de cada período seja satisfeita, considerando a possibilidade de atraso de pedidos, a restrição (2) considera a variação do nível de trabalho de um período para o outro devido a

contratações e demissões, e a restrição (3) garante que a capacidade disponível seja maior do que a demandada.

Além das restrições apresentadas, outras restrições que descrevam as limitações do problema podem ser incorporadas (por exemplo, a quantidade máxima de horas extras por período; Elsayed & Boucher, 1994). A utilização da programação linear no planejamento da capacidade permite avaliar diversos cenários possíveis, a partir de variações nos parâmetros do problema. Tais simulações utilizam a análise de sensibilidade, conforme proposto em Crandall (1998).

Definido um APP condizente com o planejamento de recursos, segue-se para a próxima etapa de planejamento da produção, onde as informações passarão para um nível maior de detalhamento. Esta etapa consiste na definição do MPS e na verificação da capacidade através do RCCP (Bonney, 2000; Verdaasdonk & Wouters, 1999; Carvalho *et al.*, 1998; Vollman *et al.*, 1997).

### **2.1.2 Plano mestre de produção (MPS) com planejamento aproximado da capacidade (RCCP)**

O RCCP está vinculado ao MPS. O MPS é feito a partir da discretização da demanda de cada período do APP em períodos menores e da desagregação da produção em diferentes tipos de produtos. O resultado é um plano de produção semanal ou diário. O horizonte de planejamento pode variar entre 1 mês e 1 ano (Krajewski & Ritzman, 1999; Carvalho *et al.*, 1998; Verdaasdonk & Wouters, 1999). Desta forma, a capacidade será verificada pelo RCCP em um nível de detalhamento maior do que aquele do planejamento de recursos.

Esta verificação de capacidade pode ser feita utilizando algoritmos de programação linear (semelhantes ao visto no planejamento de recursos) ou não-linear. Exemplos destes algoritmos podem ser encontrados em Elsayed & Boucher (1994), Johnson & Montgomery (1974), Wang *et al.* (1999) e Carvalho *et al.* (1998), entre outros.

O RCCP será abordado aqui através de três técnicas simples de verificação de capacidade: (i) Planejamento da Capacidade com Fatores Globais (CPOF - *Capacity Planning using Overall Factors*), (ii) Lista de Capacidade (CB - *Capacity Bills*) e (iii) Perfil de Recursos (RPr - *Resource Profile*). Estas técnicas são descritas por Vollman *et*

al. (1997) e Wortman *et al.* (1996), e estão em ordem crescente de complexidade, quantidade de dados necessários e precisão de resultados.

O CPOF é a técnica mais simples, podendo ser dividida em duas etapas. Na etapa inicial, determina-se a capacidade total demandada em cada período  $t$  do MPS. Esta capacidade, designada por  $Cn_t$ , é dada por:

$$Cn_t = \sum_{i=1}^I X_{it} t_i \quad (4)$$

onde  $X_{it}$  é a quantidade do produto  $i$  no período  $t$  do MPS e  $t_i$  é o tempo padrão histórico de fabricação por unidade do produto  $i$ .

Na segunda etapa, faz-se o cálculo da capacidade demandada pelo centro de trabalho  $k$  no período  $t$  ( $Cn_{kt}$ ):

$$Cn_{kt} = Cn_t \times Oc_k \quad (5)$$

onde  $Oc_k$  é a porcentagem de ocupação do centro de trabalho  $k$  no último ano, segundo dados históricos da contabilidade.

O resultado da eq. (5) deve ser comparado com a capacidade disponível em cada centro de trabalho  $k$  no período  $t$  ( $C_{kt}$ ). Esta técnica possui a vantagem de necessitar poucos dados de entrada e de ser implementada através de cálculos bastante simples. A desvantagem é que a técnica somente é válida quando o *mix* de produção e a divisão de trabalho entre os centros de trabalho permanecem aproximadamente constantes ao longo do tempo.

A CB, a segunda técnica abordada nesta subseção, necessita uma quantidade de dados de entrada bem maior que o CPOF, mas seu resultado é mais preciso. O primeiro passo consiste em organizar as informações do problema, conforme proposto na Tabela 1.

Na Tabela 1, *produtos* dizem respeito aos produtos finais planejados no MPS e *componentes* são os itens a serem fabricados para utilização direta ou indireta na composição dos produtos finais. Produtos são designados por  $i = 1, \dots, I$  e componentes por  $c = 1, \dots, C$ . A variável  $L_i$  designa a quantidade do produto  $i$  em um lote de

produção. *Operação* corresponde ao roteiro de operações necessárias para a fabricação do produto  $i$  e  $CT$  designa o centro de trabalho onde é realizada cada operação. A variável  $ts_{ik}$  representa o tempo de *setup* do produto  $i$  no centro de trabalho  $k$ . A variável  $tsu_{ik}$  corresponde ao tempo de *setup* por unidade do produto  $i$  no centro de trabalho  $k$  e é obtido a partir de  $\frac{ts_{ik}}{L_i}$ . A variável  $tp_{ik}$  designa o tempo de processamento por unidade do produto  $i$  no centro de trabalho  $k$ . Na última coluna, tem-se o tempo de fabricação do produto  $i$  no centro de trabalho  $k$ , representado por  $t_{ik}$  e obtido através de  $tsu_{ik} + tp_{ik}$ . As variáveis da linha dos componentes  $c$  possuem o mesmo significado das linhas do produto  $i$ .

Tabela 1 – Tabela de cálculo de tempo de fabricação (Adaptada de Vollman *et al.*, 1997).

Produtos	$L_i$	Operação	CT	$ts_{ik}$	$tsu_{ik}$	$tp_{ik}$	$t_{ik}$
A		1 de 1	100				
B		1 de 1	100				
Componentes	$L_c$	Operação	CT	$ts_{ck}$	$tsu_{ck}$	$tp_{ck}$	$t_{ck}$
C		1 de 2	200				
		2 de 2	300				
D		1 de 1	200				

De posse das informações na Tabela 1, pode-se calcular a capacidade total demandada para fabricação de uma unidade do produto  $i$  em cada centro de trabalho  $k$  ( $Cn_{ik}$ ), através da expressão:

$$Cn_{ik} = t_{ik} + \sum_{c=1}^C t_{ck} r_{ci} \quad (6)$$

onde  $r_{ci}$  é a quantidade total do componente  $c$  necessária para fabricação de uma unidade do produto  $i$ .

O resultado da eq. (6) é utilizado no cálculo de  $Cn_{kt}$ , a capacidade demandada pelo centro de trabalho  $k$  no período  $t$ ; isto é:

$$Cn_{kt} = \sum_{i=1}^I X_{it} Cn_{ik} \quad (7)$$

A eq. (7) apresenta uma modo alternativo de cálculo de  $Cn_{kt}$ , já apresentado na eq. (5). Na eq. (7), considera-se o *mix* de produção e a divisão do trabalho entre os centros de trabalho, gerando um resultado mais preciso do que aquele obtido na eq. (5). A desvantagem desta técnica é que ela não considera a produção ao longo do tempo, ou seja, considera que o produto e todos seus componentes são fabricados em um único período  $t$ .

O RPr é a técnica mais aperfeiçoada dentre as 3 apresentadas nesta seção, pois além do *mix* de produção ela considera a produção ao longo do tempo, considerando o *lead time* de cada operação. *Lead time* é o tempo de atravessamento de uma ordem, ou seja, é o tempo que ela necessita para passar por todas as operações necessárias em sua composição, incluindo os tempos de processamento, de *setup*, de transporte e de espera.

No RPr, num primeiro momento, organiza-se a informação sobre o problema na Tabela 1, apresentada na técnica anterior. A seguir, alocam-se as operações do produto  $i$  e seus respectivos componentes  $c$  ao longo do tempo, considerando a estrutura do produto e definindo um *lead time* (LT) para cada operação. Esta alocação pode ser observada na Figura 2, onde o produto A possui uma operação, sendo formado pelos produtos C e D, que possuem duas e uma operações respectivamente; o LT de cada operação é igual a 1.

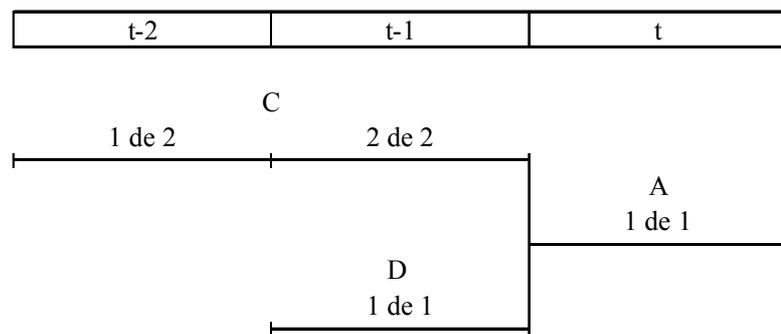


Figura 2 – Alocação das operações ao longo do tempo com *lead time* igual a 1 (adaptada de Vollman *et al.*, 1997).

A partir desta alocação determina-se um período  $t - s$  em que cada operação é realizada, onde  $t$  é o período em que o produto final  $i$  é demandado e  $s$  corresponde ao número de períodos precedentes a  $t$  em que cada operação deve ser realizada. Então, a capacidade demandada por cada operação em seu respectivo centro de trabalho  $k$  será alocada no período  $t - s$ , sendo calculada por:

$$Cn_{ik,t-s} = t_{ik} \times X_{it} \quad (8)$$

para as operações do produto  $i$ , e

$$Cn_{ck,t-s} = t_{ck} \times r_{ci} \times X_{it} \quad (9)$$

para as operações dos componentes  $c$ . Então, calcula-se a capacidade total demandada em cada centro de trabalho  $k$  em cada período do MPS ( $Cn_{k,t-s}$ ):

$$Cn_{k,t-s} = \sum_{i=1}^i Cn_{ik,t-s} + \sum_{c=1}^c Cn_{ck,t-s} . \quad (10)$$

Verificada a capacidade do MPS com uma das técnicas do RCCP, passa-se para uma etapa de planejamento detalhado da produção, que é feito através do MRP em empresas que utilizam este sistema (Krajewski & Ritzman, 1999; Bonney, 2000).

### 2.1.3 Planejamento das necessidades de material (MRP)

O MRP é um dos métodos de planejamento detalhado da produção mais utilizado em empresas industriais. Seu objetivo principal é coordenar as atividades necessárias para a obtenção de produtos finais em datas pré-determinadas (Bonney, 2000; Vollman *et al.*, 1997; Carvalho *et al.*, 1998) .

A programação do MRP considera capacidade infinita, ou seja, a produção é planejada sem considerar os limites de capacidade. Como a produção a ser planejada é informada pelo MPS, cuja capacidade já foi verificada, existe uma certa coerência entre as quantidades a serem produzidas e a capacidade disponível. Entretanto, uma maior precisão de verificação de capacidade após o detalhamento da produção pelo MRP pode ser obtido através do CRP, apresentado na subseção 2.1.4 (Krajewski & Ritzman, 1999; Bonney, 2000).

O MPS fornece a demanda independente, que é a demanda por produtos finais, influenciada pelas condições de mercado. Os produtos finais demandam componentes que serão usados na sua fabricação. Os componentes, por sua vez, podem necessitar outros componentes para fabricação, e assim por diante. A demanda por componentes é chamada demanda dependente, ou seja, é a demanda que é função da demanda de outros itens (sejam eles produtos finais ou componentes) (Krajewski & Ritzman, 1999; Vollman *et al.*, 1997, Elsayed & Boucher, 1994).

Demandas são organizadas em níveis, onde a demanda independente é posicionada no nível 0. Os componentes demandados diretamente para fabricação dos de nível 0 são os de nível 1; os demandados diretamente pelo nível 1 são de nível 2, e assim por diante, até chegar-se nos componentes comprados. Quando algum componente pertencer a mais de um nível, ele será considerado como pertencente ao nível de número mais alto (Vollman *et al.*,1997; Elsayed & Boucher, 1994).

Para uma melhor compreensão da demanda dependente, utiliza-se o conceito de itens *pais* e itens *filhos*. Itens pai são todos os itens (produtos finais ou componentes) que demandam um ou mais itens para sua fabricação. Itens filhos são os itens que são utilizados na fabricação de algum item pai. Conclui-se, então, que os produtos de nível 0 são itens pais e os componentes comprados são itens filhos. Os demais componente podem ser ora pai ora filho, pois são pais dos itens que são utilizados em sua fabricação e filhos dos itens que os utilizam na fabricação. Portanto, a demanda dependente é formada por todos os itens que, em algum momento, são itens filho (Krajewski & Ritzman, 1999).

O MRP procura coordenar a demanda dependente, afim de que a demanda independente seja satisfeita. Tal esquema é particularmente útil em ambientes de manufatura com vários níveis de demanda dependente (Krajewski & Ritzman, 1999; Vollman *et al.*,1997; Elsayed & Boucher, 1994).

O MRP possui um horizonte de planejamento que tipicamente varia de 1 mês a 1 ano, com períodos de planejamento geralmente diários ou semanais, ambos correspondentes aos do MPS (Bonney, 2000, Krajewski & Ritzman, 1999).

As informações requeridas pelo MRP são: MPS, lista de materiais, registro de inventário disponível de cada item, *lead time* de cada item e tamanho de lote de fabricação ou compra de cada item.

O MPS fornece as informações sobre as quantidades e datas de entrega dos produtos que formam a demanda independente (Krajewski & Ritzman, 1999; Vollman *et al.*,1997; Elsayed & Boucher, 1994; Bolander & Taylor, 2000; Bonney, 2000).

A lista de materiais consiste no registro de todas as relações entre os itens pais e filhos, ou seja, ela apresenta todas as quantidades de itens filhos necessários para a

fabricação de cada item pai (Krajewski & Ritzman, 1999; Vollman *et al.*,1997; Elsayed & Boucher, 1994).

O registro de inventário disponível de cada item possibilita a transformação das necessidades brutas em necessidades líquidas, ou seja, permite a transformação da demanda de um item (necessidade bruta) em quantidade mínima a ser produzida (necessidade líquida), considerando que os itens em estoque atenderão parte da demanda e, portanto, a quantidade a ser produzida diminuirá (Krajewski & Ritzman, 1999; Vollman *et al.*,1997; Elsayed & Boucher, 1994, Bolander & Taylor, 2000).

O *lead time* de um item consiste no intervalo de tempo previsto entre a liberação da ordem de fabricação e o término da fabricação do item, considerando que todos seus itens filhos estejam disponíveis. Para itens comprados, consiste no tempo previsto entre a liberação da ordem de compra e a entrega do item. O *lead time* é utilizado para definir a data de liberação de ordens de fabricação ou compra para que a necessidade líquida seja satisfeita no período planejado (Krajewski & Ritzman, 1999; Vollman *et al.*,1997; Bolander & Taylor, 2000).

O tamanho do lote de um item consiste na quantidade a ser solicitada na ordem de fabricação ou compra do item. Ele pode ser especificado a partir de várias regras. As mais conhecidas são (Krajewski & Ritzman, 1999):

- L4L (*Lot for Lot*): onde o tamanho do lote é igual a necessidade líquida. Esta regra visa redução de estoque, mas, por outro lado, aumenta o número de *setups* de fabricação.

- FOQ (*Fixed Order Quantity*): onde o lote de produção possui uma quantidade fixa, visando diminuir o custo com *setup*. Esta quantidade pode ser determinada pelo lote econômico de pedido (EOQ – *Economic Order Quantity*).

- POQ (*Periodic Order Quantity*): onde o pedido tem um intervalo fixo de ocorrência e a quantidade do pedido é aquela suficiente para cobrir as necessidades líquidas deste intervalo.

Existem outras regras de dimensionamento de lote, que diferem de itens fabricados para itens comprados (Vollman *et al.*, 1997). Geralmente, procura-se optar por regras do tipo L4L para itens de nível mais baixo (número menor) e outras regras

nos níveis mais altos. Isto porque quantidades de itens muito grandes em níveis baixos podem causar (através da composição de excessos) uma demanda inviável em níveis mais altos (Ho & Ho, 1999). Maiores informações sobre estas regras, assim como comparações entre elas, podem ser encontradas em Krajewski & Ritzman (1999), Vollman *et al.* (1997), Brennan & Gupta (1996), Ho & Ho (1999).

Como resultado final o MRP gera as datas e as quantidades a serem fabricadas ou compradas, ao longo do horizonte de planejamento, de todos os itens necessários para que se cumpra o MPS (Krajewski & Ritzman, 1999; Vollman, *et al.*, 1997; Elsayed & Boucher, 1994; Bonney, 2000; Carvalho *et al.*, 1998).

O algoritmo de cálculo do MRP será descrito baseando-se no desenvolvimento e notação apresentados por Elsayed & Boucher (1994). Num primeiro momento, o algoritmo calcula a demanda por itens diretamente utilizados na fabricação dos itens de nível 0 para cada período  $t$  (chamada de demanda direta do nível 0 no período  $t$ ). Este cálculo é feito a partir da lista de materiais e da demanda por itens do nível 0 em cada período  $t$  (chamada de demanda do nível 0 no período  $t$ ). Em seguida, as necessidades brutas dos itens de nível 1 são transformadas em necessidades líquidas; então, calcula-se a demanda direta do nível 1. Prossegue-se transformando as necessidades brutas do nível 2 em líquidas. Calcula-se a demanda direta do nível 2 e, assim por diante, até se chegar no último nível.

Nas técnicas apresentadas para o RCCP, considerou-se que os componentes  $c$  são aqueles utilizados direta ou indiretamente na fabricação dos produtos finais  $i$ . Aqui, serão diferenciados os componentes que são utilizados *diretamente* daqueles utilizados *indiretamente*. No MRP, será considerado o conceito de item, seja para produtos finais ou componentes. Os itens serão designados por  $i = 1, 2, \dots, I$ , e, quando estiverem na condição de item filho, serão designados por  $j = 1, 2, \dots, J$ .

Para o cálculo da demanda direta do nível  $u = 0, 1, \dots, U$ , utiliza-se uma lista de materiais e demandas do nível  $u$ . A lista de materiais é representada pela matriz  $\mathbf{B}$ :

$$\mathbf{B} = \begin{pmatrix} \mathbf{b}_1^t \\ \mathbf{b}_2^t \\ \vdots \\ \mathbf{b}_n^t \end{pmatrix}, \quad (11)$$

onde  $\mathbf{b}_i^t$  são vetores (transpostos) dos itens filhos do item  $i$ , representados por:

$$\mathbf{b}_i^t = (b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{ij}) \quad (12)$$

onde  $b_{ij}$  é a quantidade de  $j$  usada diretamente na fabricação de uma unidade de  $i$ .

A demanda do nível  $u$  no período  $t$  é representada pelo vetor (transposto):

$$\mathbf{d}_{ut} = (d_{1t}, d_{2t}, \dots, d_{it}), \quad (13)$$

onde  $d_{it}$  é a quantidade de  $i$  estabelecida na ordem de fabricação ou compra a ser liberada no período  $t$ . Quando o item  $i$  não pertencer ao nível  $u$ , então  $d_{it} = 0$ . Quando  $u = 0$ ,  $d_{it}$  será a quantidade de  $i$  demandada no MPS no período  $t$  onde a ordem de fabricação de  $i$  deve ser liberada.

Então, calcula-se o vetor (transposto) da demanda direta do nível  $u$  no período  $t$ :

$$\mathbf{dd}_t(\mathbf{u}) = \mathbf{d}_{ut} \times \mathbf{B}. \quad (14)$$

O resultado da eq. (14) representa as necessidades brutas do período  $t$  de todos os itens  $j$  que formam a demanda direta dos itens  $i$  do nível  $u$ .

Feito o cálculo da demanda direta do nível 0 para todos os períodos  $t$  através de (14) e computados os resultados nas necessidades brutas dos itens  $j$ , transformam-se as necessidades brutas dos itens do nível 1 em necessidades líquidas. Para tal, utiliza-se a planilha ilustrada na Tabela 2.

Na Tabela 2, o número de períodos  $t$  deve ser correspondente ao horizonte de planejamento.  $LT_i$  representa o *lead time* do item  $i$ . *Lote* consiste no tamanho do lote de fabricação, que é dimensionado através de algumas regras já apresentadas nesta subseção. A variável  $G_{it}$  corresponde a necessidade brutas do item  $i$  no período  $t$ , obtida a partir dos valores encontrados na eq. (14) nos níveis anteriores.  $S_{it}$  é o recebimento programado do item  $i$  no período  $t$ . Esta quantidade provém de ordens de fabricação do item  $i$  que já foram liberadas e estão esperadas para o período  $t$ .  $I_{i0}$  é o inventário disponível do item  $i$  no início do horizonte de planejamento, ou seja, no início do

período 1. A variável  $I_{it}$  representa o inventário disponível do item  $i$  no final do período  $t$ , e é calculado através da eq. (15). A necessidade líquida do item  $i$  no período  $t$  é representada pela variável  $N_{it}$ , calculada usando a eq. (16).  $P_{it}$  é a quantidade do item  $i$  a ser solicitada na ordem de fabricação que deverá ser liberada no período  $t$ , e seu valor é definido a partir da eq. (17) e da explicação que se segue.

Tabela 2 – Planilha do MRP.

Item $i$ <i>Lead time</i> = $LT_i$	Nível 0 Lote = L4L	Períodos ( $t$ )								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Necessidades brutas ( $G_{it}$ )										
Recebimentos programados ( $S_{it}$ )										
Inventário disponível ( $I_{it}$ )		$I_{i0}$								
Necessidades líquidas ( $N_{it}$ )										
Planejamento de liberação de ordens ( $P_{it}$ )										

Para o cálculo do inventário disponível do item  $i$  no final do período  $t$ , tem-se:

$$I_{it} = I_{i,t-1} - G_{it} + S_{it} + P_{i,t-LT_i} \quad (15)$$

A necessidade líquida do item  $i$  no período  $t$  é dada por:

$$N_{it} = \max\{0, -(I_{i,t-1} - G_{it})\} \quad (16)$$

A quantidade do item  $i$  a ser solicitada na ordem de fabricação que deverá ser liberada no período  $t$  é definida da seguinte forma:

$$\text{Se } \begin{cases} N_{i,t+LT_i} \neq 0 \Rightarrow P_{it} \neq 0 \\ N_{i,t+LT_i} = 0 \Rightarrow P_{it} = 0 \end{cases} \quad (17)$$

sendo que quando  $P_{it} \neq 0$ , seu valor vai variar conforme o lote de produção especificado em *Lote*, de forma que cubra a necessidade líquida.

Os valores de  $P_{it}$  de cada item  $i$  do nível 1 formam a demanda do nível 1 no período  $t$ , representada pela eq. (13). Então, calcula-se a demanda direta do nível 1 em cada período  $t$  através da eq. (14). O resultado é computado nas necessidades brutas dos itens  $j$ . Segue-se transformando as necessidades brutas dos itens do nível 2 em

necessidades líquidas. Volta-se a eq. (14) e calcula-se a demanda direta do nível 2 em cada período  $t$ . Este procedimento deve ser repetido até chegar-se ao último nível.

Outros conceitos importantes, muitas vezes associados ao MRP, são os de estoque de segurança e *lead time* de segurança. Embora de modo diferente, ambos objetivam tratar com a instabilidade do ambiente de manufatura tal que o plano de produção não se desvie de seus objetivos (Krajewski & Ritzman, 1999; Vollman *et al.*, 1997; Bonney, 2000).

O estoque de segurança ( $E_i$ ) consiste num estoque mínimo admissível para o item  $i$ . nos cálculos apresentados anteriormente, não se admite que o estoque total disponível em um determinado período seja menor que  $E_i$ , ou seja,  $N_{it} = \max\{0, -(I_{i,t-1} - G_{it} + S_{it} - E_i)\}$ . O estoque de segurança deve ser usado quando houver instabilidade quantidade de itens

O *lead time* de segurança ( $LTS_i$ ) consiste em um acréscimo de tempo ao *lead time*  $LT_i$  estabelecido para o item  $i$ ; com esse acréscimo, o tempo transcorrido entre a necessidade de um item e a liberação do pedido não será mais  $LT_i$ , e sim  $(LT_i + LTS_i)$ . O *lead time* de segurança deve ser usado quando houver uma instabilidade comprovada no tempo de entrega de pedidos.

#### **2.1.4 Planejamento das necessidades de capacidade (CRP)**

O CRP calcula a capacidade demandada por cada centro de trabalho, de forma que se cumpram os recebimentos programados e o planejamento das ordens liberadas do MRP (Krajewski & Ritzman, 1999; Elsayed & Boucher, 1995, Vollman *et al.*, 1997).

O CRP diferencia-se do RCCP em quatro aspectos essenciais: (i) o CRP considera as datas estabelecidas pelo MRP, que por sua vez consideram o tamanho do lote e o *lead time* das ordens já liberadas e das planejadas; (ii) o CRP considera o inventário de todos os itens, pois a capacidade demandada é calculada a partir das necessidades líquidas do MRP, cujo inventário já foi descontado; (iii) o CRP considera o estoque em processo, pois considera a capacidade demandada para completar os pedidos já liberados, ou seja, que já estão em processo; e (iv) o CRP considera a demanda de itens de reposição (devido a geração de refugos, por exemplo). Pelos

aspectos acima, o CRP é mais preciso na verificação da capacidade, se comparado com as técnicas de RCCP. A desvantagem é que o CRP requer mais dados, maior esforço computacional e resulta em um maior custo operacional (Vollman *et al.*, 1997; Wortman *et al.*, 1996).

O CRP consiste no cálculo da capacidade demandada por cada centro de trabalho  $k$  em cada período  $t$  ( $Cn_{kt}$ ) que deve ser comparada com a capacidade disponível do centro de trabalho  $k$  no período  $t$  ( $C_{kt}$ ). A comparação pode ser apresentada no formato de tabela (como exemplificado na Tabela 3) ou gráfico (como exemplificado na Figura 3) (Elsayed & Boucher, 1995; Vollman *et al.*, 1997; Krajewski & Ritzman, 1999).

Tabela 3– Comparação da capacidade disponível × demandada em um centro de trabalho.

Centro de trabalho: $k$	Períodos									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Capacidade disponível ( $C_{kt}$ )										
Capacidade demandada ( $Cn_{kt}$ )										
Saldo ( $C_{kt} - Cn_{kt}$ )										

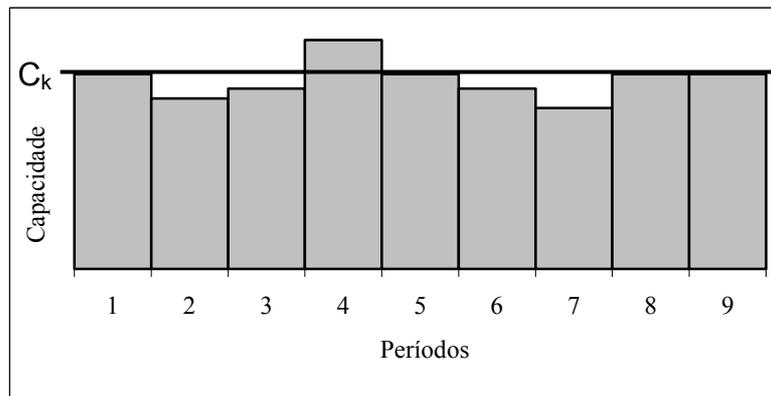


Figura 3- Comparação da capacidade disponível × demandada em um centro de trabalho.

Para o cálculo da capacidade demandada  $Cn_{kt}$  são necessárias as seguintes informações (Elsayed & Boucher, 1995; Vollman *et al.*, 1997; Krajewski & Ritzman, 1999):

-  $N_{i,t-LT_i}$  : a quantidade do item  $i$  a ser entregue no período  $t$ .

-  $m_{ik} = 1, 2, \dots, m-2, m-1, m$ : a sequência de operações do item  $i$  (sendo  $m$  a última operação) a serem realizadas em seus respectivos centros de trabalho  $k = 1, 2, \dots, K', K, K$ .

-  $t_{im_{ik}}$ : o tempo utilizado pelo lote de produção do item  $i$  no centro de trabalho da operação  $m_{ik}$ . É obtido por:

$$t_{im_{ik}} = ts_{im_{ik}} + N_{i,t-LT_i} \times tp_{im_{ik}} \quad (18)$$

onde  $ts_{im_{ik}}$  é o tempo de *setup* do lote de produção do item  $i$  no centro de trabalho da operação  $m_{ik}$ , e  $tp_{im_{ik}}$  é o tempo de processamento unitário do item  $i$  no centro de trabalho da operação  $m_{ik}$ .

-  $C_{kt}$  = capacidade do centro de trabalho  $k$  no período  $t$ .

O procedimento de cálculo do CRP é implementado nos três passos principais, descritos a seguir:

**Passo 1:** começam-se os cálculos para última operação  $m_{ik} = m$  do item  $i$ , a ser realizada em seu respectivo centro de trabalho  $k = K$  e finalizada no período  $t$ . Calcula-se  $f_{Kt} = C_{Kt} - t_{im}$ :

- se  $f_{Kt} > 0$ , então  $t_{im}$  é alocado em  $Cn_{Kt}$ , e passa-se para o passo 2.

- se  $f_{Kt} \leq 0$ , então  $C_{Kt}$  é alocado em  $Cn_{Kt}$ , e passa-se para o passo 1.1.

Passo 1.1: calcula-se  $f_{K,t-1} = C_{K,t-1} + f_{Kt}$ :

- se  $f_{K,t-1} > 0$ , então  $|f_{Kt}|$  é alocado em  $Cn_{k,t-1}$ , e passa-se para o passo 2.

- se  $f_{K,t-1} \leq 0$ , então  $C_{K,t-1}$  é alocado em  $Cn_{K,t-1}$ , e passa-se para o passo 1.2.

Passo 1.2: calcula-se  $f_{K,t-2} = C_{K,t-2} + f_{K,t-1}$ :

- se  $f_{K,t-2} > 0$ , então  $|f_{K,t-1}|$  é alocado em  $Cn_{K,t-2}$ , e passa-se para o passo 2.

- se  $f_{K,t-2} \leq 0$ , então  $C_{K,t-2}$  é alocado em  $Cn_{K,t-2}$ , e passa-se para o passo 1.3.

Passo 1.3: calcula-se  $f_{K,t-3} = C_{K,t-3} + f_{K,t-2}$ .

Este processo deve ser repetido até encontrar-se um  $f_{K,t-s} > 0$ , quando, então, passa-se para o passo 2.

**Passo 2:** Calcula-se  $f'_{K,t-s} = f_{K,t-s} - tf_{m,m-1}$ , onde  $tf_{m,m-1}$  é o tempo de folga entre o processamento da operação  $m$  e  $m-1$  (tempos gastos em transporte, inspeção, fila, etc.):

- se  $f'_{K,t-s} > 0$ , então  $f_{K,t-t'} = f'_{K,t-s}$  e  $t' = s$ , e passa-se para o passo 3.

- se  $f'_{K,t-s} \leq 0$ , então  $f_{K,t-t'} = C_{K',t-t'} + f'_{K,t-s}$  e  $t' = s + 1$ , e passa-se para o passo 3.

**Passo 3:** Procede-se com os cálculos para a alocação de capacidade demandada para a operação  $m_{ik} = m-1$  do item  $i$  em seu respectivo centro de trabalho  $k = K'$ . Para tanto, calcula-se  $f_{K',t-t'} = f_{K,t-t'} - t_{i,m-1}$ :

- se  $f_{K',t-t'} > 0$ , então  $t_{i,m-1}$  é alocado em  $Cn_{K',t-t'}$ .

- se  $f_{K',t-t'} \leq 0$ , então  $f_{K,t-t'}$  é alocado em  $Cn_{K',t-t'}$ , e passa-se para o passo 3.1.

Passo 3.1: calcula-se  $f_{K',t-t'-1} = C_{K',t-t'-1} + f_{K',t-t'}$

- se  $f_{K',t-t'-1} > 0$ , então  $|f_{K',t-t'-1}|$  é alocado em  $Cn_{K',t-t'-1}$ .

- se  $f_{K',t-t'-1} \leq 0$ , então  $C_{K',t-t'-1}$  é alocado em  $Cn_{K',t-t'-1}$ , e passa-se para o passo 3.2.

Passo 3.2: calcula-se  $f_{K',t-t'-2} = C_{K',t-t'-2} + f_{K',t-t'-1}$ .

Os cálculos prosseguem até encontrar-se um valor de  $f_{K',t-t'-s'} > 0$ , como feito no passo 1. Obtido este valor, aloca-se a capacidade requerida pela operação  $m_{ik} = m-2$  em seu respectivo centro de trabalho  $k = K''$ . Este procedimento é repetido até se chegar na primeira operação.

O procedimento acima é repetido para os planejamentos de liberação de ordens e ordens já liberadas (planejamento de recebimento) de todos os itens  $i$ . Para as ordens já liberadas, o procedimento de cálculo é o mesmo, só que ao invés de seguir-se até a primeira operação do item, calcula-se apenas até a operação em que a ordem se encontra no momento. Se, ao final dos cálculos, a capacidade demandada for maior do que a capacidade disponível, deve-se ajustar o planejamento da produção. Ajustes possíveis incluem utilização de horas extras, subcontratação, terciarização de parte da produção, etc.

O resultado obtido pelo CRP pode não corresponder a realidade devido ao grau de agregação das informações ainda presente (Wortman *et al.*, 1996). O CRP ignora o problema da existência de dois ou mais pedidos a serem processados num centro de trabalho, no mesmo instante. Esta situação é conhecida como problema do seqüenciamento das operações (Souza & Pires, 1999).

O problema do seqüenciamento, não considerado no CRP, pode ser visualizado na Figura 4, onde se tem a seqüência de 2 itens a serem entregues no final do quinto período. Para garantir a entrega do item 1 no período determinado, deve-se processá-lo no centro de trabalho X no início do período 4. Entretanto, neste momento o centro de trabalho X está ocupado com o processamento do item 2. Quando as capacidades demandadas pelo centro de trabalho X no período 4 são somadas no CRP, verifica-se que seu valor é menor que a capacidade disponível. Conclui-se, assim, que não haverá problemas de capacidade no centro de trabalho X, o que não é verdade. O atraso do processamento do item 1 no centro de trabalho X repercutirá sobre todos os centros de trabalho subsequentes, gerando atraso na data de entrega do item (Souza & Pires, 1999; Wortman *et al.*, 1996) e invalidando os resultados do CRP para os centros de trabalho seguintes, onde a configuração da capacidade demandada mudará.

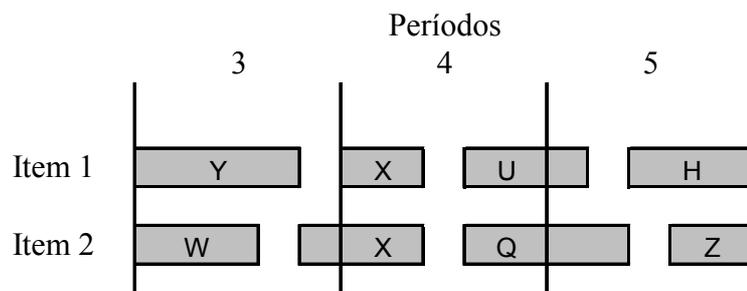


Figura 4 – Ilustração do problema do seqüenciamento.

Para contornar o problema do seqüenciamento, pode-se considerar um tempo de folga entre as operações grande o suficiente para absorver possíveis atrasos no início do tempo de processamento. Este tempo de folga representa o tempo de espera de um lote para sua produção e varia conforme o *mix* de produção. Portanto, um tempo de folga fixo não retrata a realidade. Se esse tempo for maior que o necessário, haverá aumento do *lead time*, do estoque em processo e do tempo de entrega dos pedidos para os clientes, que são acontecimentos indesejáveis para as empresas; se for menor, haverá atraso na data de entrega do produto e, conseqüentemente, perda da confiabilidade junto aos clientes (Wiendahl, 1995).

Através da programação da produção este problema é resolvido, dado que a seqüência das ordens de fabricação em cada centro de trabalho são consideradas.

### **2.1.5 Programação da produção (PS)**

Programação da produção é um plano de curto prazo que viabiliza o planejamento de médio prazo. Neste plano, as operações demandadas pelas ordens de fabricação liberadas no médio prazo são seqüenciadas e alocadas em cada recurso por elas demandados. Isto é feito considerando as mensurações de desempenho do sistema de produção, a seqüência das operações de cada ordem de fabricação e as restrições de capacidade dos recursos (Krajewski & Ritzman, 1999; Stoop & Wiers, 1996; Elsayed & Boucher, 1994; Yelling & Mackulak, 1995).

As mensurações de desempenho normalmente consideradas no sistema de produção são (Krajewski & Ritzman, 1999; Elsayed & Boucher, 1994; Randhawa & Zeng, 1996; Graves, 1981; Ponnambalam *et al.*, 1999):

⇒ **Tempo de fluxo da ordem de fabricação:** é o tempo gasto por uma ordem no sistema de produção, ou seja, o tempo decorrido entre o momento em que a ordem está disponível para a primeira operação e o momento em que a última operação é completada. Este tempo inclui tempos de transporte, de espera, de preparação e de processamento da ordem de fabricação.

⇒ **Makespan:** é o tempo necessário para produzir um grupo de ordens de fabricação, ou seja, o tempo decorrido entre o momento em que a primeira ordem começa ser

processada e o momento em que a última ordem é finalizada, em sua última operação.

- ⇒ **Pontualidade (*lateness*):** é a diferença entre o momento em que a ordem foi finalizada e o prazo de entrega, ou seja, o tempo que a ordem desviou-se do seu prazo de entrega.
- ⇒ **Atraso (*tardiness*):** é o tempo de atraso do término da ordem de fabricação em relação ao prazo de entrega, definido como  $[\max(0; \textit{pontualidade})]$ .
- ⇒ **Antecipação (*earliness*):** é o tempo de antecipação do término da ordem de fabricação em relação ao prazo de entrega, definido como  $[\min(0; \textit{pontualidade})]$ .
- ⇒ **Porcentagem de ordens de fabricação atrasadas:** representa a proporção de ordens de fabricação finalizadas após o prazo de entrega em relação ao número total de ordens.
- ⇒ **Estoque em processo:** representa todas as ordens de fabricação que estão no processo de produção, podendo estar em processamento, em filas de espera ou em transporte. Pode ser mensurado em unidades, valor monetário ou tempo de suprimento.
- ⇒ **Estoque total:** é a soma dos recebimentos programados e do inventário disponível de todos os itens. Também pode ser mensurado em unidades, valor monetário ou tempo de suprimento.
- ⇒ **Utilização:** é a porcentagem de tempo de trabalho produtivo dos recursos em relação à disponibilidade de recurso.

A programação utilizada em um ou outro sistema de produção varia muito conforme as características destes sistemas. Isto é esperado, já que o PS deve considerar os detalhes de funcionamento dos sistemas de produção (Graves, 1981; Elsayed & Boucher, 1994). Os fatores que mais influenciam o método de programação utilizado são (Elsayed & Boucher, 1994): o número de ordens de fabricação, o número de centros de trabalho do sistema, o tipo de sistema de produção, o processo de chegada das ordens no sistema de produção e o critério de desempenho da programação.

O primeiro e o segundo fator, como o próprio nome já indica, consideram o número de ordens de fabricação e o número de centros de trabalho do sistema de produção. Dependendo da influência dos outros fatores, o número elevado destes itens pode aumentar a complexidade do método de programação utilizado, pois aumenta o número de alternativas de programação (Elsayed & Boucher, 1994).

O tipo de sistema de produção descreve o tipo de fluxo das ordens de fabricação ao longo do sistema. Dois tipos de fluxo são normalmente considerados: *flow shop* e *job shop*. No *flow shop*, as ordens de fabricação seguem a mesma seqüência de operações, ou seja, todas as ordens possuem o mesmo fluxo ao longo do sistema. Tais sistemas são característicos na produção de alto a médio volume (Krajewski & Ritzman, 1999; Graves, 1981; Onwubolu, 1996). No *job shop* são permitidos diferentes fluxos de produção para cada ordem e o número de operações pode variar de uma ordem para outra. Tais sistemas são normalmente encontrados em produção de pequeno a médio volume (Krajewski & Ritzman, 1999; Graves, 1981; Pacheco & Santoro, 1999).

O processo de chegada das ordens de fabricação é classificado em estático e dinâmico. No processo estático, as ordens de fabricação estão disponíveis no início do período de programação e novas ordens não chegam neste período. No processo dinâmico, novas ordens podem chegar durante o período de programação (Elsayed & Boucher, 1994; Pacheco & Santoro, 1999).

A programação pode ter um ou mais critérios de desempenho, que são os critérios que os métodos de programação tentam otimizar. Estes critérios estão baseados nas mensurações do sistema de produção (Elsayed & Boucher, 1994).

A combinação destes fatores nos remete a inúmeros métodos de programação. Estes métodos apresentam solução ótima ou próxima a ótima, conforme os critérios a serem otimizados. Os métodos mais divulgados na literatura podem ser classificados em (Pacheco & Santoro, 1999; Stoop & Wiers, 1996; Wortman *et al.*, 1996):

⇒ **Procedimentos de despacho (*dispatching procedure*):** define a seqüência de execução das ordens em cada operação através de regras de seqüenciamento, tal que quando o recurso torna-se disponível, a ordem mais prioritária é alocada para execução. As regras de seqüenciamento devem ser determinadas conforme os critérios a serem otimizados (Krajewski & Ritzman, 1999; Pacheco & Santoro,

1999). As regras mais utilizadas são (Krajewski & Ritzman, 1999; Randhawa & Zeng, 1996; Ponnambalam *et al.*, 1999; Elsayed & Boucher, 1994; Graves, 1981; Vollman *et al.*, 1997):

- Seleção randômica (RAN): seleciona uma seqüência de ordens aleatoriamente.
- Ordem de chegada (FCFS – *first come, first served*): nesta regra é dada maior prioridade para as ordens que chegaram primeiro no centro de trabalho em questão.
- Menor tempo de processamento (SPT – *shortest processing time*): maior prioridade é dada para as ordens com menor tempo de processamento no centro de trabalho em questão.
- Prazo de entrega (EDD – *earliest due date*): maior prioridade é dada para a ordem com prazo de entrega mais cedo.
- Mínimo tempo de processamento remanescente total (LRT – *least total remaining processing time*): maior prioridade é dada para as ordens com menor soma de tempos de processamento restantes para sua finalização.
- Ratio crítico (CR – *critical ratio*): maior prioridade é dada para ordens de menor CR:

$$CR = \frac{\text{prazo de entrega} - \text{dia de hoje}}{\text{tempo total de fabricação remanescente}} \quad (19)$$

onde o tempo de total de fabricação remanescente (*TFR*) representa a soma dos tempos restantes para finalização da ordem (incluindo tempos de processamento, *setup*, transporte e tempo de espera estimado).

- Folga remanescente por operação (SRO – *slack per remaining operations*): maior prioridade é dada para ordens com menor SRO:

$$SRO = \frac{(\text{prazo de entrega} - \text{dia de hoje}) - TFR}{\text{número de operações remanescentes}} \quad (20)$$

onde o número de operações remanescentes representa o número de operações pendentes para que a ordem seja finalizada.

⇒ **Solução ótima por *Branch-and-bound***: este método define uma solução ótima através da avaliação de todas as alternativas de programação viáveis. Para tal, utiliza uma estrutura de busca em árvore, onde analisa cada ramificação que satisfaça ao conjunto de restrições estabelecido para o problema. Para que este método seja computacionalmente viável, deve ter um tamanho pequeno, ou seja, poucas ordens de fabricação e poucas operações (Pacheco & Santoro, 1999; Wortman *et al.*, 1996; Ponnambalam *et al.*, 1999; Stoop & Wiers, 1996).

⇒ **Heurística de busca**: as heurísticas de busca fornecem uma solução próxima da ótima e podem ser divididas em: busca em árvore e busca na vizinhança (Pacheco & Santoro, 1999). Na busca em árvore, o método mais conhecido é o beam search. Este método é uma derivação do branch and bound; a diferença é que no beam search não são avaliadas todas as alternativas de programação viáveis, mas apenas aquelas selecionadas como relevantes (Pacheco & Santoro, 1999; Wortman *et al.*, 1996).

Na busca na vizinhança, uma solução inicial é criada a partir de alguma regra de seqüenciamento. Soluções melhores do que a inicial são então procuradas na vizinhança, ou seja, pontos vizinhos do espaço de alternativas são avaliados (Pacheco & Santoro, 1999; Ponnambalam *et al.*, 1999). As heurísticas de busca em vizinhança mais conhecidas são *tabu search*, os algoritmos genéticos e o *simulated annealing* (Pacheco & Santoro, 1999).

⇒ **Heurísticas orientadas aos gargalos**: nestas heurísticas a determinação da seqüência das ordens nos centros de trabalho é realizada inicialmente no gargalo, que é o recurso limitante do sistema de produção (Pacheco & Santoro, 1999). Elas podem considerar gargalos únicos ou gargalos móveis. No caso de gargalos únicos, define-se a melhor seqüência das ordens produção no gargalo. As seqüências das ordens nos demais centros de trabalho são definidas de forma a atender o gargalo. O exemplo mais conhecido deste método é o software Optimised Production Technology (OPT) (Wortman *et al.*, 1996; Pacheco & Santoro, 1999; Carvalho *et al.*, 1996).

Os métodos de gargalo móvel definem uma programação inicial. O gargalo é identificado e a seqüência ótima das ordens é definida para o gargalo. As ordens nos

demais recursos são seqüenciadas para atender o gargalo e um novo gargalo é definido. As ordens no novo gargalo são seqüenciadas otimamente considerando as restrições do primeiro gargalo seqüenciado. Assim, segue-se seqüenciando as ordens nos recursos, até que todos os recursos sejam seqüenciados como gargalos (considerando as restrições dos gargalos antecedentes) (Wortman *et al.*, 1996; P Elsayed & Boucher, 1994; Pacheco & Santoro, 1999).

A utilização destes métodos varia conforme as características do sistema produtivo e os objetivos que se tem. A seguir são apresentados exemplos de aplicação destes métodos nos sistemas de produção mais conhecidos: (i) fluxo em um único centro de trabalho; (ii) fluxo em centros de trabalho paralelos; (iii) *flow shop* e (iv) *job shop*.

### **2.1.5.1 Fluxo em um centro de trabalho**

Neste sistema, todas as ordens são processadas em um único Centro de Trabalho (CT). A programação, de baixa complexidade, é feita através do seqüenciamento das ordens a partir de alguma regra de seqüenciamento, a ser estabelecida conforme o critério de desempenho definido para o sistema de produção (Elsayed & Boucher, 1994; Krajewski & Ritzman, 1999).

Quando o critério de desempenho for minimizar a média do tempo de fluxo das ordens, a solução ótima é dada pela regra SPT (Elsayed & Boucher, 1994; Krajewski & Ritzman, 1999). Se o objetivo for minimizar a porcentagem de ordens atrasadas, vários estudos indicam que a melhor regra é a EDD (Krajewski & Ritzman, 1999).

Para priorização pode-se ainda determinar um peso para as ordens, a fim de indicar sua importância. Elsayed & Boucher (1994) apresentam um exemplo onde cada ordem  $i$  possuem um peso  $g_i$ . No exemplo, o objetivo é minimizar a média ponderada do tempo de fluxo das ordens (MWFT – *mean weighted flow time*). Como a solução ótima para o objetivo de minimizar a média do tempo de fluxo é o seqüenciamento por SPT, para a otimização da MWFT, utiliza-se a seguinte regra para priorização:

$$\frac{t_{[1]}}{g_{[1]}} \leq \frac{t_{[2]}}{g_{[2]}} \leq \dots \leq \frac{t_{[p]}}{g_{[p]}} \quad (21)$$

onde  $t_p$  : é o tempo de processamento da ordem de prioridade  $p$ .

Elsayed & Boucher (1994) apresentam ainda algumas heurísticas simples para minimização da pontualidade, atraso e antecipação. Pizzolato *et al.* (1999), por sua vez, utilizam o problema do caixeiro viajante para minimizar os tempos de *setup* em um processo produtivo com uma única máquina. No problema do caixeiro viajante, o viajante sai de um ponto de origem, passa por  $n$  localidades (uma vez em cada uma) e volta à origem. Dada a distância entre as localidades, defini-se o roteiro de menor distância. A solução desse problema é dada por programação linear. No sistema de produção modelado por Pizzolato *et al.* (1999), os tempos de *setup* variam conforme a ordem processada anteriormente. Desta forma, definiu-se a seqüência de ordens que resultam em um menor tempo de *setup*.

### **2.1.5.2 Fluxo em centros de trabalho paralelos**

Neste sistema, as ordens necessitam ser processadas em um CT, mas existe mais de um CT para esta execução. Assim, as execuções se dão em paralelo. Os critérios de desempenho mais estudados nestes sistemas são o *makespan*, o MWFT e a média ponderada de atraso das ordens (Graves, 1981).

O método de Kaspi-Montreuil (Elsayed & Boucher, 1994) gera a seqüência ótima para as ordens quando o objetivo é minimizar *makespan*. Ele utiliza o conceito de momento em que cada CT  $k$  encontra-se disponível, designado por  $A_k$ . A seqüência das ordens é dada pela regra SPT. Para gerar a programação, seguem-se 6 passos:

**Passo 1** : Listar as ordens de fabricação em ordem de tempo de processamento (conforme SPT), tal que  $t_{[1]} \leq t_{[2]} \leq \dots \leq t_{[I]}$ .

**Passo 2**: Listar os CTs em ordem crescente de momento em que estejam disponíveis, tal que  $A_{[1]} \leq A_{[2]} \leq \dots \leq A_{[K]}$ .

**Passo 3**: Programar a ordem [1] no CT [1].

**Passo 4**: Executar  $A_{[1]} = A_{[1]} + t_{[1]}$  e atualizar a lista de CTs disponíveis em ordem crescente de disponibilidade.

**Passo 5**: Remover a ordem [1] da lista de ordens.

**Passo 6**: Se a lista de ordens não estiver vazia, retornar ao passo 3; caso contrário, a programação está completa.

Elsayed & Boucher (1994) também apresentam uma heurística para situações onde o atraso médio das ordens é minimizado. Esta heurística é baseada nas regras de seqüenciamento EDD e SPT. Kalir & Sarin (1999) utilizam o método de *simulated annealing* para programação em CTs paralelos. Em seu estudo, fazem uma avaliação do desempenho da programação no *simulated annealing* conforme a qualidade da solução inicial utilizada. Os critérios de desempenho utilizados são o *makespan*, o tempo de fluxo e a pontualidade. Kalir & Sarin (1999) concluem que o uso de métodos avançados para geração de uma solução inicial para programação em *simulated annealing* produz resultados bem melhores quando comparados com a geração randômica (que é a usualmente utilizada).

### **2.1.5.3 Flow shop**

A melhor solução para a programação de um *flow shop* com dois CTs, quando o critério é minimizar o *makespan*, é obtida pelo método de Johnson. Muitos métodos para programação de *flow shop* com mais de dois CTs são também baseados no método de Johnson (Graves, 1981; Elsayed & Boucher, 1994; Krajewski & Ritzman, 1999). A programação em dois CTs pelo método de Johnson segue os seguintes passos (Krajewski & Ritzman, 1999; Elsayed & Boucher, 1994):

**Passo 1:** Listar os tempos de processamento das ordens em cada CT.

**Passo 2:** Selecionar o menor tempo (em caso de empate, escolher aleatoriamente)

**Passo 3:** se o menor tempo pertencer ao primeiro CT, programar a ordem para o mais cedo possível; caso pertencer ao segundo CT, programar a ordem para o mais tarde possível.

**Passo 4:** Retirar a ordem selecionada no passo 2 do método da lista estabelecida no passo 1.

**Passo 5:** Repetir os passos 2, 3 e 4 até que todas as ordens estejam programadas.

O método de Johnson pode ser estendido para sistemas com três CTs, garantindo uma solução ótima, caso o menor tempo de processamento no primeiro CT (CT1) ou no terceiro CT (CT3) for maior que o maior tempo de processamento no segundo (CT2). Neste caso, define-se um novo sistema de dois CTs (CT1' e CT2') e resolve-se pelo método de Johnson para dois CTs (Elsayed & Boucher, 1994). Os tempos de processamento de cada ordem *i* nos novos CTs são dados por:

$$CT1': tp_{i1'} = tp_{i1} + tp_{i2}$$

$$CT2': tp_{i2'} = tp_{i2} + tp_{i3}$$

onde  $tp_{ik}$  : tempo de processamento da ordem  $i$  no CT  $k$ .

O método de Cambell *et al.* (Elsayed & Boucher, 1994; Onwubolu, 1996) é uma extensão do método de Johnson para sistemas de produção com  $i$  ordens e  $k$  centros de trabalho (com  $i=1,2,\dots,I$  e  $k=1,2,\dots,K$ ), mas seu resultado não é ótimo. Neste método, vários cenários de produção com dois CTs são criados a partir da soma dos tempos de processamento dos  $K$  CTs para cada ordem  $i$  (análogo ao método de Johnson para três CTs). Os desempenhos das seqüências de cada cenário são comparados e o melhor é escolhido.

Elsayed & Boucher (1994) apresentam ainda os métodos de *branch-and-bound*, de gargalo móvel e de Stinson-Smith para a programação de *flow shops*. No método de Stinson-Smith, as ordens são consideradas par a par e define-se um custo  $C_{ij}$  da ordem  $i$  anteceder a ordem  $j$ . Este  $C_{ij}$  baseia-se no tempo de espera das ordens e tempo de ociosidade dos CTs caso a seqüência  $ij$  seja executada. Seis heurísticas são apresentadas para definição de  $C_{ij}$ . Com os custos definidos, a programação é feita tratando o problema de programação como um problema do tipo caixeiro-viajante.

#### **2.1.5.4 Job shop**

Devido à complexidade que os sistemas *job shop* podem apresentar, métodos de solução ótima são, em geral, computacionalmente inviáveis. Sua aplicação só se torna viável quando os sistemas de produção são simples e pequenos, o que normalmente não é o caso (Pacheco & Santoro, 1999; Randhawa & Zeng, 1996).

O método mais simples de programação utiliza regras de seqüenciamento. Neste método, cada CT é tratado separadamente. Quando o CT torna-se disponível, define-se qual das ordens da fila de espera por processamento no CT será alocada através de regras de seqüenciamento (Krajewski & Ritzman, 1999).

Randhawa & Zeng (1996) fizeram uma avaliação do desempenho das regras de seqüenciamento em sistemas *job shop* utilizando simulação. É avaliado o desempenho de 6 regras de seqüenciamento interagindo com dois outros fatores: distribuição dos

tempos de serviço e o nível de carga de trabalho no sistema de produção. Os autores concluem que as regras de seqüenciamento baseadas em tempos de processamento das ordens (tais como SPT e LRT) apresentam melhores desempenhos.

Ponnambalam *et al.* (1999) propõe a utilização de *simulated annealing* para a programação de *job shop* com o objetivo de minimizar o *makespan*. Os autores comparam o desempenho do *simulated annealing* com a do algoritmo genético e sugere a utilização do primeiro nos problemas de sequenciamento.

Cheng *et al.* (1999) apresentam uma forma de programação a partir do método *guided simulated annealing*, que é uma forma modificada do *simulated annealing* tradicional. Este método apresenta como vantagem, em relação ao *simulated annealing* tradicional, uma maior rapidez de solução.

Mesghouni *et al.* (1999) utilizam uma abordagem híbrida para programação de *job shop*. Nesta abordagem são acoplados 3 métodos: CLP (*constraint logic programming*), algoritmo genético e tomada de decisão multicritério (MCDM – *multi-criteria decision-making*). O CLP é uma extensão da programação linear. É utilizado para gerar um cenário de soluções iniciais que atendam as restrições do sistema. O algoritmo genético é utilizado para selecionar as seqüências de melhor *makespan*. A partir destas seqüências geradas pelo algoritmo genético, o MCDM escolhe a melhor seqüência utilizando outros critérios que se deseje considerar.

#### **2.1.5.5 Considerações**

Alguns fatores devem ser considerados quando da decisão por um método de programação da produção. Estes podem invalidar a execução das ordens conforme definido pela programação. Os mais citados na literatura são:

- Os métodos de programação da produção modelados apenas por uma perspectiva matemática desconsideram as atividades de negociação, comunicação e preferências humanas. Na prática, estas atividades ocorrem constantemente e podem invalidar o resultado da programação (Wortman *et al.*, 1996).
- O ambiente de programação pode ser estático ou dinâmico: é considerado estático quando se tem a completa especificação das necessidades de produção

no período de programação; é dito dinâmico quando novas necessidades podem surgir durante o período em que a programação foi definida. Os métodos de programação da produção consideram, normalmente, ambientes estáticos; na prática, o ambiente é geralmente dinâmico (Graves, 1981; Stoop & Wiers, 1996; Wortman *et al.*, 1996).

- Vários eventos não planejados podem ocorrer durante o período de programação. Estes eventos podem estar relacionados ao sistema de produção ou a demanda. Exemplos de distúrbios no sistema de produção são: quebra de máquinas, absenteísmo, falta de material, tempos imprecisos. Na demanda tem-se: modificação do prazo de entrega, entrada de ordens de produção emergenciais, cancelamento de pedidos e flutuações no tamanho da ordem de fabricação (Yelling & Mackulak, 1995; Stoop & Wiers, 1996).

## **2.2 PLANEJAMENTO DA PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS**

Os serviços são altamente perecíveis, ou seja, são produzidos e consumidos simultaneamente. Ao contrário do que acontece em uma fábrica, o serviço não pode ser estocado; pode, no máximo, ser colocado em uma fila de espera. Neste contexto, quando a demanda é menor que a capacidade disponível, tem-se a subutilização de recursos e, quando for maior, corre-se o risco de perder clientes (Fitzsimmons & Fitzsimmons, 1998; Téboul, 1999; Armistead & Clark, 1994; Gianese & Corrêa, 1994; NG *et al.*, 1999; Thompson, 1996; Krajewski & Ritzman, 1999).

Outra dificuldade imposta pela maioria dos serviços é a grande flutuação da demanda. Estas flutuações podem ocorrer tanto em longo prazo como em curto prazo. Serviços relacionados ao turismo, por exemplo, apresentam grandes variações de demanda dentro de um ano, conforme os períodos de alta e baixa temporada. Já em um supermercado, grandes variações ocorrem dentro de um único dia e durante os dias da semana (Fitzsimmons & Fitzsimmons, 1998).

Dentro deste contexto, o gerenciamento da capacidade, definida como a procura pelo balanceamento entre a capacidade disponível e a demandada, torna-se uma tarefa complexa e importante nas operações de serviço (Téboul, 1999; Thompson, 1996; NG *et al.*, 1999; Armistead & Clark, 1994); entretanto, a literatura tem dado pouca atenção ao estudo da capacidade nestas operações (NG *et al.*, 1999). Vargas & Manoochehri

(1995), em uma avaliação das operações de empresas do setor de serviços nos EUA, constataram que, dentro das atividades avaliadas, o planejamento da capacidade é considerado a atividade com maior lacuna de conhecimento. Johnston (1999), por outro lado, faz uma revisão da evolução da gestão de operações nos últimos 20 anos, e sugere o gerenciamento da capacidade em serviços como uma das questões a serem estudadas no estágio atual.

Duas formas de gerenciamento da capacidade são sugeridas pela literatura: gerenciamento da demanda e gerenciamento do fornecimento (Fitzsimmons & Fitzsimmons, 1998, Téboul, 1999, NG *et al.*, 1999).

O gerenciamento da demanda consiste na utilização de estratégias que suavizam as flutuações de demanda, tornando-a mais estável (Fitzsimmons & Fitzsimmons, 1998). Tais estratégias são normalmente utilizadas quando o cliente pode esperar pelo fornecimento do serviço nos momentos em que a demanda não pode ser satisfeita (Armistead & Clark, 1994).

O gerenciamento do fornecimento consiste na utilização de estratégias que ajustam o fornecimento do serviço (capacidade disponível) de forma atender a demanda (capacidade demandada) (Fitzsimmons & Fitzsimmons, 1998; NG *et al.*, 1999). Elas são normalmente utilizadas quando o cliente não pode esperar muito tempo pelo fornecimento do serviço (Armistead & Clark, 1994).

Conforme as estratégias adotadas, diferentes métodos matemáticos são utilizados para o planejamento dos serviços. O planejamento dos serviços pode ser dividido em planejamento de longo prazo, onde é feito o planejamento agregado da mão-de-obra, e planejamento de curto prazo, onde é feita a programação.

Nesta seção (Seção 2.2) são apresentadas, inicialmente, as principais estratégias utilizadas para gerenciamento da demanda e gerenciamento da capacidade. Em seguida, são apresentados os métodos utilizados para o planejamento agregado da mão-de-obra e para a programação de curto prazo. Por último, são feitas considerações gerais sobre o que foi apresentado.

## 2.2.1 Gerenciamento da demanda

As principais estratégias para o gerenciamento da demanda são: divisão da demanda, oferecimento de preços diferenciados, desenvolvimento de serviços complementares e sistemas de reserva.

A demanda de um serviço geralmente provém de diferentes fontes. Quando isto ocorre, pode-se agrupá-la em segmentos e tratá-los de formas diferentes. Esta estratégia é conhecida como divisão da demanda. O agrupamento mais freqüente é o de demanda com chegadas aleatórias e com chegadas planejadas. Neste caso, pode-se fazer uma previsão das chegadas aleatórias e programar as demais nas horas vagas. Um exemplo típico é o caso de atividades de manutenção onde ocorrem urgências e manutenções preventivas (Fitzsimmons & Fitzsimmons, 1998; Téboul, 1999).

Na estratégia de oferecimento de preços diferenciados, os preços dos serviços variam conforme o momento da utilização e o segmento de clientela. Como exemplo, pode-se citar a diferença entre as tarifas noturnas e de fim de semana para ligações telefônicas, diárias de hotéis conforme a temporada, diferença de preços em determinadas sessões de cinema (Fitzsimmons & Fitzsimmons, 1998; Téboul, 1999).

NG *et al.* (1999) colocam que a prática de oferecimento de descontos (ou atividades de promoção e aumento da publicidade) não é usualmente executada pelas empresas de serviços. Ao contrário do que é apresentado pela literatura, esta prática não é desejada pelas empresas, pois impacta negativamente sobre os planos de *marketing*.

Desenvolvimento de serviços complementares podem ser interessantes em duas situações. Uma delas é quando eles são aptos a preencher o tempo de espera dos clientes em períodos de pico de demanda. Restaurantes costumam utilizar esta estratégia através da inclusão de um bar. Este bar pode acomodar os clientes enquanto esperam e ainda aumentar a lucratividade do restaurante. A outra, é quando o serviço complementar permite a utilização da capacidade ociosa em períodos de baixa demanda, como é o caso de empresas de calefação que também realizam serviços de ar-condicionado (Fitzsimmons & Fitzsimmons, 1998).

Sistema de reserva permitem que um serviço potencial seja vendido antecipadamente, ou seja, este serviço é mantido em uma fila de espera. Estes sistemas

permitem que a demanda seja alocada em vagas disponíveis. Esta prática é comum em companhias aéreas e hotéis. (Fitzsimmons & Fitzsimmons, 1998; Téboul, 1999).

O grande problema enfrentado por estes sistemas é quando o cliente faz múltiplas reservas para assegurar seu serviço ou quando ele não comparece. Para contornar este problema, as empresas costumam utilizar a estratégia de sobrealocação (*overbooking*). Esta estratégia consiste em permitir que o número de reservas seja maior que a capacidade disponível. Entretanto, quanto maior for o número de reservas que excedem a capacidade, maior o risco de não atendimento ao cliente. Para definição deste número deve-se considerar tanto os custos de ociosidade do serviço, como o custo de não atendimento da reserva (Fitzsimmons & Fitzsimmons, 1998; Téboul, 1999).

### **2.2.2 Gerenciamento do fornecimento**

Para o gerenciamento do fornecimento, as principais estratégias utilizadas são: aumento da participação do cliente, terceirização, funcionários multidisciplinares, capacidade compartilhada e utilização de funcionários com jornada parcial.

Aumentar a participação do cliente consiste em transformar o cliente em co-produtor, de forma que a capacidade de atendimento varie conforme a demanda, ao invés de permanecer fixa. Este é o caso dos serviços de auto-atendimento, que verificamos, por exemplo, em alguns postos de gasolina e bancos. Restaurantes de *fast food* que eliminam o pessoal responsável por servir e limpar as mesas também são um exemplo de serviços que utilizam esta estratégia. O problema desta estratégia é que a qualidade do serviço depende do cliente (Fitzsimmons & Fitzsimmons, 1998; Téboul, 1999).

A terceirização consiste na utilização de terceiros na realização de algumas atividades. Está também é uma forma de incrementar a capacidade quando necessário e é muito utilizada pelas empresas (Téboul, 1999).

Funcionários multifuncionais são aqueles aptos a trabalhar em diferentes operações dos serviços, conforme a demanda exigir. Esta é uma estratégia muito utilizada em supermercados, onde, quando há excesso de filas nos caixas, os funcionários que organizam as prateleiras ocupam a função de operadores de caixa. Da

mesma forma, quando existem operadores de caixa ociosos, eles são alocados na organização das prateleiras (Fitzsimmons & Fitzsimmons, 1998; Téboul, 1999).

Além de criar uma maior flexibilidade operacional, facilitando o atendimento da demanda, a multifuncionalidade também beneficia o funcionário, devido à redução da rotina e ao aumento da moral. Apesar destes benefícios, apenas recentemente análises quantitativas relacionadas a multifuncionalidade começaram a ser desenvolvidas (Brusco *et al.*, 1998).

A capacidade compartilhada pode se dar tanto no nível de equipamentos e instalações, como de mão-de-obra. Compartilhar equipamentos e instalações é estratégia utilizada por algumas empresas devido ao investimento requerido por estes. Isto pode ser notado em hospitais, que compartilham alguns equipamentos e em companhia aéreas que utilizam os mesmos portões de embarque, rampas de acesso e aviões. A mão-de-obra também pode ser compartilhada, como é o caso das equipes de bordo e equipe de terra nas companhias aéreas (Fitzsimmons & Fitzsimmons, 1998; Téboul, 1999).

Funcionários em jornada parcial são aqueles dispostos a trabalhar em turnos menores. A utilização de funcionários com jornada parcial é interessante quando os picos de demanda são persistentes e previsíveis e quando o serviço não exige maiores habilidades e treinamentos. Assim, estes funcionários podem auxiliar os funcionários efetivos. Restaurantes de *fast food* e supermercados são exemplos de fornecedores de serviço que podem beneficiar-se com esta estratégia (Fitzsimmons & Fitzsimmons, 1998; Téboul, 1999; Thompson, 1996). Estes funcionários geralmente possuem outros empregos ou outras atividades (estudantes, por exemplo). Por isto, seus turnos de trabalho podem ter várias restrições quanto a horário de início e fim do turno ao longo da semana (Thompson, 1996).

### **2.2.3 Planejamento agregado da mão-de-obra**

O planejamento agregado da mão-de-obra consiste na definição de um plano de longo prazo que considera a mão-de-obra de forma agregada. Ou seja, define as ações a serem tomadas em relação à mão-de-obra no longo prazo, sem considerar os detalhes vinculados com a flexibilidade da mão-de-obra no curto prazo. O horizonte de planejamento considerado é normalmente anual, dividido em períodos mensais, trimestrais ou quadrimestrais.

Quando a demanda não possui muitas variações ou existem dificuldades de contratação e demissão de funcionários, a estratégia de manter a capacidade fixa no longo prazo é utilizada. Nestes casos, utiliza-se o planejamento agregado da mão-de-obra com capacidade fixa, que define quantos funcionários serão necessários durante o horizonte de tempo considerado (Krajewski & Ritzman, 1999).

Neste planejamento, contratações, subcontratações e demissões não são consideradas. A opção utilizada é recorrer a hora-extra nos períodos de pico e assumir os custos relacionados com a ociosidade da mão-de-obra. Para definir a quantidade de funcionários necessários ( $Y$ ) considera-se (Krajewski & Ritzman, 1999):

$$Y = \frac{\max(y_t)}{(1 + he)}, \quad t = 1, \dots, T \quad (22)$$

onde:

$y_t$ : quantidade de funcionários demandados no período  $t$  de planejamento.

$T$ : número de períodos de planejamento do horizonte de planejamento.

$he$ : porcentagem de hora-extra máxima permitida em relação ao turno normal de trabalho.

Definido o valor de  $Y$ , pode-se prever a quantidade de horas extras e ociosidade em cada período.

Quando se têm grandes variações de demanda no longo prazo ou quando horas extras e ociosidades não são viáveis ou, ainda, quando há grande rotatividade de funcionários, pode-se optar por contratações e demissões de funcionários ao longo do horizonte de planejamento. Deve-se lembrar, entretanto, que funcionários novos necessitam de treinamento para iniciarem suas atividades. O planejamento agregado de mão-de-obra com rotatividade identifica quando e quantos funcionários devem ser contratados ou demitidos para atender a demanda (Krajewski & Ritzman, 1999; Fitzsimmons & Fitzsimmons, 1998).

Um problema de programação inteira para o planejamento agregado de mão-de-obra com rotatividade para os caixas de um banco é apresentado por Fitzsimmons & Fitzsimmons (1998). Este problema é adaptado aqui para exemplificar um método de planejamento agregado de mão-de-obra com rotatividade.

Considere uma demanda mensal por caixas em cada mês  $t$  do horizonte de planejamento ( $d_t$ ) expressa em horas, tal que cada caixa trabalha  $H$  horas por mês. Considera-se que cada caixa contratado necessita 1 mês de treinamento. No treinamento, estes funcionários simulam  $H'$  horas de trabalho com o acompanhamento de um caixa experiente. Isto significa que  $H'$  horas de trabalho de caixas experientes são perdidos para cada caixa contratado. Considere as seguintes definições adicionais:

$Yn_t$ : número caixas contratados no início do mês  $t$ .

$Y_t$ : número de caixas disponíveis no início do mês  $t$ .

$Yd_t$ : número de caixas demitidos no início do mês  $t$ .

$c$ : R\$ pagos por mês para cada caixa.

$cn$ : R\$ pagos aos caixas iniciantes durante o mês de treinamento.

$cd$ : R\$ gastos com a demissão de um caixa.

$t = 1, 2, \dots, T$ , onde  $T$  é o número de períodos de planejamento do horizonte de planejamento.

Tem-se que:

$$\text{Min } z = \sum_{i=1}^T (c \times Y_t + cn \times Yn_t + cd \times Yd_t) \quad (23)$$

Sujeito a:

$$H \times Y_t - H' \times Yn_t \geq d_t \quad (24)$$

$$Y_t + Yd_t - Y_{t-1} - Yn_{t-1} = 0 \quad (25)$$

$$Y_t, Yn_t, Yd_t \geq 0 \text{ e inteiro, para } t = 1, 2, \dots, T \quad (26)$$

O objetivo desta formulação, dado na equação (23) é reduzir o custo com mão-de-obra. A equação (24) garante que a demanda seja atendida. A equação (25) atualiza o número de caixas disponíveis em cada mês considerando os caixas contratados no mês anterior e os demitidos no mês em questão. A equação (26) garante a não-negatividade e resultados inteiros da formulação.

## 2.2.4 Programação de curto prazo

A programação de curto prazo pode ter dois enfoques: programar a demanda e programar o fornecimento. Na programação da demanda, os serviços são alocados em algum momento no tempo; para tal utiliza-se programação por compromissos (usada

principalmente em serviços de saúde) e métodos de gerenciamento de projetos, que serão vistos na próxima seção, por serem específicos para projetos. Na programação de fornecimento, alocam-se os funcionários ao invés da demanda; para tal, utiliza-se a programação de mão-de-obra.

Na programação por compromissos, a capacidade disponível é considerada fixa e a demanda é alocada de forma a utilizar a capacidade e coordenar o fornecimento do serviço. Como resultado, tem-se o momento em que o serviço será fornecido ao cliente. Este tipo de programação pode ser utilizado, por exemplo, em oficinas de conserto de automóveis e em serviços de dentistas, advogados e médicos (Krajewski & Ritzman, 1999).

Ho *et al.* (1995) apresentam uma avaliação das diversas regras de programação que podem ser utilizadas quando da marcação de atendimentos de pacientes em clínicas médicas. Estas regras consideram que o tempo de duração do serviço de cada cliente  $i$  ( $t_i$ ) é estocástico, ou seja, existe uma distribuição de probabilidade associada a ele. Conforme este tempo varia ou ocorrem atrasos ou adiantamento dos clientes, os tempos de espera do cliente e ociosidades do fornecedor do serviço também variam. A definição básica do problema é dada por:

$A_i$  : momento marcado para início do serviço do cliente  $i$ .

$b_i$  : momento em que o serviço do cliente  $i$  efetivamente inicia.

$e_i$  : momento em que o serviço do cliente  $i$  efetivamente termina.

$te_i$  : tempo de espera do cliente  $i$ .

$to_i$  : tempo de ociosidade do fornecedor do serviço antes do atendimento do cliente  $i$ .

$i = 1, 2, \dots, I$ , onde  $I$  é o número de clientes programados dentro do período de tempo considerado.

Então, tem-se que:

$$b_i = \max(A_i; b_{i-1} + t_{i-1}) \quad (27)$$

$$e_i = b_i + t_i \quad (28)$$

$$te_i = \max(0, b_i - A_i) \quad (29)$$

$$to_i = \max(0, A_i - e_{i-1}) \quad (30)$$

Programações por compromissos procuram minimizar o tempo total de espera dos clientes ( $te$ ) e o tempo total de ociosidade do fornecedor de serviço ( $to$ ) (Ho *et al.*, 1995; Clague *et al.*, 1997), dados por:

$$te = \sum_{i=1}^I te_i \quad (31)$$

$$to = \sum_{i=1}^I to_i \quad (32)$$

As regras mais conhecidas para esta programação são (Ho *et al.*, 1995):

- compromissos individuais: estas regras consideram um número  $i'$  de pacientes a serem marcados no início do período, sendo os restantes marcados um a um. Estas regras são variações de uma formulação mais simples, representada por:

$$A_i = 0, \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, i' \quad (33)$$

$$A_i = A_{i-1} + t_i + k \times \sigma_{t_i}, \quad \text{para } i = i' + 1, i' + 2, \dots, I \quad (34)$$

onde:

$k$ : coeficiente empírico, que varia de 0 a 0,25. A escolha de valor ocorre conforme o interesse da programação em minimizar o tempo de espera do cliente ou o tempo de ociosidade do fornecedor do serviço.

$\sigma_{t_i}$ : desvio padrão de tempo de duração do serviço ( $t_i$ ).

- compromissos em blocos: estas regras dividem o número total de clientes do período em  $m$  blocos. O período de tempo considerado ( $T$ ) também é dividido em  $m$  blocos e os  $ni$  clientes de cada bloco são, então, programados para chegar no início de cada bloco:

$$ni = \frac{N}{m} \quad (35)$$

$$t = \frac{T}{m}, \quad (36)$$

onde  $t$  é o tempo de duração de cada bloco.

- compromissos com intervalos variáveis: estas regras procuram reduzir o tempo ocioso do prestador de serviço colocando mais clientes no início do período e menos no final, criando uma espécie de “estoque” de clientes. Para tal, é definido um cliente  $W$

onde a duração do serviço dos clientes anteriores a  $W$  é menor que o tempo médio, e dos posteriores a  $W$ , maior. Estas regras são variações de:

$$A_i = (i-1) \times t_i - (W-i) \times k \times \sigma_{t_i} \quad (37)$$

Krajewski & Ritzman (1999) atentam para a necessidade de avaliar o tempo de duração do serviço para cada cliente, quando estes apresentarem necessidades diferentes. Nestes casos, programar clientes considerando tempos de duração iguais não atende as necessidades reais. Clague *et al.* (1997), por sua vez, consideram 2 tempos de duração em seu estudo, que também está focado em clínicas médicas. Um tempo é definido para novas consultas, e outro para consultas de acompanhamento. Os autores utilizam um simulador para avaliar a influência de mudanças na estrutura da clínica (tamanho da clínica, número de médicos, *mix* de consultas, taxas de atendimento e programação por compromisso) sobre o desempenho do serviço (tempo de espera do cliente e tempo ocioso do fornecedor de serviço). Entre suas conclusões, colocam que a utilização de programação por compromisso otimizada pode reduzir consideravelmente os tempos de esperas dos clientes e o tempo ocioso do fornecedor de serviço.

A programação de mão-de-obra consiste na definição dos turnos e/ou dias de folgas de trabalho que atendam a demanda. Esta programação se faz necessária quando a demanda de serviço exige resposta rápida e pode ser prevista com precisão razoável (Krajewski & Ritzman, 1999; Thompson, 1996; Fitzsimmons & Fitzsimmons, 1998; Téboul, 1999).

A programação da mão-de-obra permite o detalhamento do planejamento agregado (Krajewski & Ritzman, 1999) e, se eficiente, pode trazer importantes ganhos de produtividade (Brusco & Jacobs, 2000). Entretanto, pode se tornar complexa devido ao alto grau de flexibilidade e às necessidades que a mão-de-obra pode apresentar, gerando inúmeras possibilidades de programação. Estas flexibilidade e necessidade incluem tempos variados de turno de trabalho, intervalos para refeições ou descanso que devem ocorrer dentro de uma janela de tempo de um turno, turnos variados de um dia para outro, dias de folga não consecutivos dentro de cada semana, funcionários que só podem trabalhar em horários específicos do dia, etc (Jacobs & Bechtold, 1993; Thompson, 1996; Téboul, 1999; Krajewski & Ritzman, 1999).

Vários métodos são utilizados para programação da mão-de-obra (Jacobs & Bechtold, 1993). Os mais conhecidos são programação inteira, heurísticas baseadas em programação linear e heurísticas de construção. A programação inteira é a que apresenta os melhores resultados, mas pode demandar um tempo grande de processamento quando os problemas forem muito complexos. Heurísticas baseadas em programação linear consistem na solução do problema por programação linear e posterior aplicação de heurísticas para determinação de valores inteiros. Heurísticas de construção iniciam sem uma solução inicial, e formam a solução de maneira interativa (Brusco & Johns, 1995; 1998).

Os problemas de programação de mão de obra foram classificados inicialmente por Baker (1976) como: programação de turnos de trabalho, programação de dias de folga e programação de jornada de trabalho.

A programação de turnos de trabalho define os horários de início e fim do trabalho de cada funcionário dentro um dia de forma a atender a demanda (Goodale & Tunc, 1998; Brusco & Johns, 1995, Thompson, 1996; Fitzsimmons & Fitzsimmons, 1998; Melachrinoudis & Olafsson, 1995).

Melachrinoudis & Olafsson (1995) apresentam um modelo de alocação da mão-de-obra disponível durante um dia, de forma a atender a demanda. Esse modelo inclui previsão de demanda e programação de turnos de trabalho. Para a programação de turnos é utilizada a programação inteira. Considera-se que os turnos podem ter duração variada, podendo iniciar em diferentes horários do dia. Considera-se ainda, o número de funcionários disponíveis e o número de horas em que eles estão disponíveis. Não são considerados os intervalos para refeição e descanso. A formulação do problema é dada por:

*Índices:*

$t$  : hora do dia, com  $t = 1, 2, \dots, 24$ .

$h$  : horas de duração do turno

$j$  : hora de início de um turno, com  $j = 1, \dots, 24$ .

*Dados de entrada:*

$s$  : horas de duração do menor turno.

$\ell$  : horas de duração do maior turno.

$ot$  : hora em que inicia o serviço no dia.

$ct$  : hora em que termina o serviço no dia.

$d_t$  : número de funcionários demandados durante a hora  $t$ .

$y_h$  : número de funcionários disponíveis para trabalhar no turno de duração  $h$ .

$Y$  : número de funcionários disponíveis em um dia.

*Variáveis de decisão:*

$x_{jh}$  : número de funcionários que iniciam o trabalho na hora  $j$  e trabalham em turno de duração  $h$ .

Formulação:

$$\text{Min} \sum_{h=s}^{\ell} \left( h \times \sum_{j=ot}^{ct-h} x_{jh} \right) \quad (38)$$

Sujeito a:

$$J(t) = \{j : \max(t - \ell + 1, ot) \leq j \leq \min(t, ct - s)\} \quad (39)$$

$$H(t,j) = \{h : \max(t - j + 1, s) \leq h \leq \min(ct - j, \ell)\} \quad (40)$$

$$\sum_{h \in H(t,j)} \sum_{j \in J(t)} x_{jh} \geq d_t, \quad \text{com } t = ot, \dots, ct - 1 \quad (41)$$

$$\sum_{h=s}^{\ell} \sum_{j=ot}^{ct-h} x_{jh} \leq Y \quad (42)$$

$$\sum_{j=ot}^{ct-h} x_{jh} \leq y_h, \quad \text{com } h = s, \dots, \ell \quad (43)$$

$$x_{jh} \geq 0 \text{ e inteiro, com } j = ot, \dots, ct - h, h = s, \dots, \ell \quad (44)$$

Este modelo busca minimizar o número de horas trabalhadas pelos funcionários [equação (38)]. A equação (39) apresenta os possíveis cenários de horários de início de um turno, para uma determinada hora do dia. Dada uma hora do dia e horário de início do turno, tem-se os cenários de todos os tempos de duração dos turnos a partir da equação (40). Para garantir que a demanda seja atendida, tem-se a equação (41). A equação (42) limita a disponibilidade de funcionários durante o dia, e a equação (43) limita a disponibilidade de horas trabalhadas por cada funcionário. A equação (44) garante que o resultado seja inteiro e não negativo, que os turnos iniciem dentro de

intervalo de funcionamento do serviço e que não tenham durações maiores ou menores que as permitidas.

A formulação apresentada é um exemplo de modelo explícito (Melachrinoudis & Olafsson, 1995). Os modelos explícitos são aqueles em que o resultado da otimização por programação inteira contém informações suficientes para a especificação dos turnos de trabalho (Thompson, 1996). Quando o problema contém inúmeras restrições e flexibilidade da mão-de-obra os modelos implícitos são utilizados. Nestes modelos, o resultado da otimização por programação inteira não contém informações suficientes para especificação dos turnos, necessitando de um processamento do resultado encontrado para esta especificação (Brusco & Jacobs, 1998, 2000; Thompson, 1996).

Thompson (1996) apresenta um modelo implícito para a programação de turnos de trabalho. Sua formulação considera turnos de duração variável, com intervalos para refeições. Os intervalos para refeições variam em tempo de duração e período de tempo em que podem ocorrer dentro do turno, conforme a duração do turno. O modelo pressupõe, também, que os funcionários apresentam restrições quanto ao tempo disponível, ou seja, eles estão disponíveis para o trabalho em um intervalo de tempo específico durante o dia. O problema em Thompson (1996) é considerado tri-implícito pois, após otimização por programação inteira, os funcionários e intervalos para refeição são alocados implicitamente em turnos de trabalho definidos também de forma implícita.

A programação de dias de folga define os dias de folga semanais de cada funcionário (Brusco & Johns, 1995; Goodale & Tunc, 1998; Ho *et al.*, 1995). Esta programação é normalmente utilizada para serviços que são fornecidos em todos os dias da semana. Nestes casos, definir os dias de folga dos funcionários é um problema comum (Fitzsimmons & Fitzsimmons, 1998; Krajewski & Ritzman, 1999)

Fitzsimmons & Fitzsimmons (1998) apresentam um problema de programação inteira para programação dos dias de folga. Em seu problema, o serviço é fornecido em todos dias da semana e os funcionários demandam dois dias de folga consecutivos. Dado que:

$x_t$ : número de funcionários que folgam no dia  $t$  e  $t+1$ , e

$d_t$ : número de funcionários demandados no dia  $t$ ,

tem-se a seguinte programação:

$$\text{Min } z = \sum_{t=1}^7 x_t \quad (45)$$

Sujeito a:

$$x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 \geq d_1 \quad (46)$$

$$x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 \geq d_2 \quad (47)$$

$$x_1 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 \geq d_3 \quad (48)$$

$$x_1 + x_2 + x_5 + x_6 + x_7 \geq d_4 \quad (49)$$

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_6 + x_7 \geq d_5 \quad (50)$$

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_7 \geq d_6 \quad (51)$$

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 \geq d_7 \quad (52)$$

$$x_t \geq 0 \text{ e inteiro} \quad (53)$$

A programação da jornada de trabalho consiste na junção da programação de turnos e dos dias de folga. Nela, os turnos de trabalho são programados ao longo da semana, considerando os dias de folga de cada turno (Brusco & Johns, 1995; Brusco & Jacobs, 2000; Melachrinoudis & Olafsson, 1995; Goodale & Tunc, 1998).

Dantzig (1954) propõe uma formulação para o problema de programação da jornada de trabalho. Esta formulação, de caráter genérico, pressupõe que as possíveis jornadas de trabalho já estão definidas, restando saber quantos funcionários devem trabalhar em cada jornada.

Considere as seguintes definições:

$d_t$  : número de funcionários demandados para trabalhar no período  $t$ .

$x_j$  : número de funcionários programados para trabalhar na jornada  $j$ .

$a_{jt}$  : igual a 1 se o período  $t$  pertencer à jornada  $j$ ; igual a 0 caso contrário.

$M$ : cenário de jornadas possíveis.

$N$ : cenário de períodos de trabalho dentro do horizonte semanal considerado.

A formulação proposta é dada por:

$$\text{Min } z = \sum_{j \in M} x_j \quad (54)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j \in M} (a_{ij} \times x_j) \geq d_t, \text{ com } t \in N \quad (55)$$

$$x_j \geq 0 \text{ e inteiro, com } j \in M \quad (56)$$

O objetivo da formulação é minimizar o número total de funcionários [equação (54)]. A equação (55) garante que a demanda seja atendida e a equação (56), que o resultado seja inteiro e não-negativo.

A formulação apresentada nas equações (54) a (56) é de programação inteira explícita. Entretanto, devido a grande complexidade que estes problemas podem apresentar, muitos pesquisadores têm desenvolvido modelos implícitos. Brusco & Jacobs (1998) propõem um método de solução para programação de jornadas de trabalho onde é considerada a existência de turnos completos e meio turnos, e onde funcionários começam a trabalhar na mesma hora em cada dia. Considera-se um local que funciona 24 horas por dia nos 7 dias da semana. Intervalos para refeição e descanso não são considerados. O problema é implícito e utiliza uma heurística em dois estágios. O primeiro estágio seleciona os tempos de início dos turnos através de programação linear seguido da aplicação de heurísticas. No segundo estágio, são construídas as jornadas de trabalho a partir dos turnos selecionados através de heurísticas.

Brusco & Jacobs (2000), em seu modelo de programação de jornadas de trabalho, consideram a flexibilidade de horário de início do turno e de intervalo para refeições. Portanto, os turnos de um funcionário podem ter horários de início e intervalos de refeições variados durante a semana. Considera-se o trabalho durante 24 horas do dia, durante os 7 dias da semana. O modelo é de programação inteira e implícito.

Goodale & Tunc (1998) apresentam um modelo de programação de jornada de trabalho com produtividade dinâmica. Os autores integram um modelo de programação inteira (para programação da jornada de trabalho) com curvas de aprendizado. Seu modelo é especialmente aplicável em serviços que costumam empregar mão-de-obra temporária.

Brusco & Johns (1995) apresentam uma comparação entre métodos de heurística baseadas em programação linear e de heurística de construção. Os autores utilizam a formulação de programação inteira apresentada neste tópico como parâmetro de comparação (solução ótima). Como conclusão, tem-se que as heurísticas baseadas em programação linear apresentam um resultado mais próximo do ótimo do que as heurísticas de construção.

Dos métodos citados para programação de mão-de-obra, nenhum considera a multifuncionalidade dos funcionários. Brusco *et al.* (1998) apresentam um problema de programação inteira para a determinação do número de funcionários demandados ao longo do dia, considerando que eles são capazes de executar duas operações de serviço diferentes. Neste problema, divide-se o dia em  $T$  intervalos de planejamento. Os funcionários tipo  $Y1$  executam sua operação principal (operação 1) com uma produtividade de 100% e uma operação secundária (operação 2) com uma produtividade  $\rho$ . Os funcionários tipo  $Y2$  executam sua operação principal (operação 2) com uma produtividade de 100% e uma operação secundária (operação 1) com uma produtividade  $\rho$ . As demandas pelas operações 1 e 2 em cada intervalo de planejamento  $t$  são representadas, respectivamente, por  $d1_t$  e  $d2_t$ , com  $t = 1, 2, \dots, T$ . O objetivo do problema é a minimização do número total de funcionários. A formulação do problema é dada por:

$$\text{Min } z = Y1 + Y2 \quad (57)$$

Sujeito a:

$$Y1 + \max[\rho \times (Y2 - d2_t); 0] \geq d1_t \quad (58)$$

$$Y2 + \max[\rho \times (Y1 - d1_t); 0] \geq d2_t \quad (59)$$

A partir desta formulação, Brusco *et al.* (1998) realizaram um estudo experimental para avaliar os ganhos obtidos com a multifuncionalidade. Considerando que o maior ganho ocorre quando  $\rho = 1$  (100 % de produtividade), os autores observaram que 80% do ganho ocorre quando  $\rho = 0,5$ . A principal conclusão do trabalho é que a multifuncionalidade traz benefícios consideráveis mesmo quando as habilidades dos funcionários em uma operação secundária são restritas, ou seja, menos produtivas.

Rising *et al.* (1971) utilizaram simulação para definir a melhor programação de mão-de-obra e de compromissos em uma clínica de saúde. A clínica realizava atendimentos de emergência, atendimentos com hora marcada e atendimentos sem hora marcada. Em um primeiro momento, foi identificado o número de pacientes de emergência e sem hora marcada para cada dia da semana. Considerando a capacidade diária de atendimento dos médicos e subtraindo o número de pacientes de emergência e sem hora marcada, tem-se o número de consultas que podem ser marcadas em cada dia da semana (estratégia de divisão de demanda). Na seqüência, foi realizada a simulação.

Na simulação, considerou-se a distribuição horária de ocorrência das emergências e dos pacientes sem hora marcada. Considerou-se, ainda, a seguinte prioridade de atendimento dos serviços: primeiro, atendimentos de emergências e pacientes que estão em atendimento mas se ausentaram por um momento para ir ao raio x, laboratório, etc.; depois, pacientes com hora marcada; por último, pacientes sem hora marcada. Primeiramente a simulação foi feita com um arranjo e intervalo fixo para marcação de horários. Então, foi definido o número de médicos demandados em cada horário considerando as restrições de capacidade (quantidade e turnos dos médicos). Definido o melhor cenário de turnos, a simulação foi repetida considerando os turnos fixos e variando os arranjos e intervalos para marcação de horário. O melhor arranjo e intervalo para marcação de horário foram identificados.

As definições encontradas na simulação foram implementadas e os resultados obtidos foram: o número de atendimentos aumentou 13,4%; o número de horas trabalhadas pelos médicos reduziu 5,1%; o tempo médio dos pacientes com os médicos aumentou em 5%; o tempo de espera dos pacientes com e sem hora marcada não modificou; a satisfação dos médicos aumentou.

### **2.2.5 Considerações gerais**

NG *et al.* (1999) fazem um levantamento das estratégias empregadas para o uso da capacidade ociosa nas operações de serviço. Como resultado, os autores perceberam algumas divergências entre o que é sugerido na literatura e o que é praticado nas empresas de serviço. No que se refere a gerenciamento da demanda, foi observado que as empresas não costumam oferecer descontos ou promoções como forma de utilização da capacidade; sistemas de reserva, entretanto, são uma prática utilizada em serviços que permitem esta estratégia. No que se refere a gerenciamento do fornecimento,

percebeu que a programação da mão-de-obra reduz perdas, mas não acaba com o problema da capacidade ociosa. As perdas reduzidas com programação da mão-de-obra, entretanto, são menores que as perdas derivadas da capacidade ociosa. Desta forma, a tendência das empresas é assumir uma capacidade fixa que atenda aos períodos de pico, e utilizar estratégias para o consumo da capacidade ociosa.

Armistead & Clark (1994), por outro lado, colocam que os períodos de pico de demanda em serviço podem prejudicar sua qualidade. Neste sentido, os autores propõem uma estratégia para reduzir este risco. Uma das estratégias sugeridas envolve a melhoria dos sistemas de previsão de demanda e de programação. A idéia chave é que os administradores devem estar conscientes da futura ocorrência de períodos de picos de demanda para poderem se prevenir.

## **2.3 GERENCIAMENTO DE PROJETOS**

Projeto é a combinação de atividades inter-relacionadas a serem executadas em uma ordem específica para completar um único produto ou serviço. Eles podem necessitar de diferentes profissionais e habilidades. Cada projeto é único, mesmo que faça parte da rotina de uma empresa. Desta forma, a complexidade, necessidade de recursos, tempo de duração e risco associado pode variar muito de projeto para projeto (Elsayed & Boucher, 1994; Krajewski & Ritzman, 1999; Fitzsimmons & Fitzsimmons, 1998).

O conceito de projeto é amplamente aplicado em empresas de construção civil, em desenvolvimento de novos produtos ou serviços, em serviços de consultoria e em projetos de engenharia (Fitzsimmons & Fitzsimmons, 1998; Krajewski & Ritzman, 1999; Pontrandolfo, 2000).

O gerenciamento de projetos envolve a coordenação de atividades, pessoas, organizações e outros recursos, de forma a atingir as metas especificadas. As técnicas que auxiliam nesta coordenação utilizam o conceito de rede de trabalho (*network*). As redes de trabalho contêm as atividades a serem executadas no projeto e os eventos que permitem o início de uma atividade. São normalmente representadas através de um conjunto de círculos (nós) e setas. Duas formas de representação são mais utilizadas: atividades sobre as setas (AOA – *activity-on-arc*) e atividade sobre nós (AON –

*activity-on-node*). Na AOA as atividades são representadas pelas setas e os eventos pelos nós. Na AON ocorre o contrário, isto é, as atividades são representadas pelos nós (Elsayed & Boucher, 1994; Krajewski & Ritzman, 1999; Fitzsimmons & Fitzsimmons, 1998). Exemplos destas representações podem ser vistos na Figura 5. Na Figura 5 as atividades são representadas pelas letras S, T e U. A atividade U só pode ser iniciada com a conclusão das atividades S e T.

As técnicas mais conhecidas para o gerenciamento de projetos são: CPM (*Critical Path Method*) e PERT (*Program Evaluation and Review Technique*). Estas técnicas usam princípios muito similares. A principal diferença é que o CPM considera os tempos de duração das atividades como determinísticos e associados a um custo; no PERT, estes tempos são considerados probabilísticos (Elsayed & Boucher, 1994). Como as diferenças entre as duas técnicas são mínimas, serão tratadas de forma conjunta, ou seja, como PERT/CPM

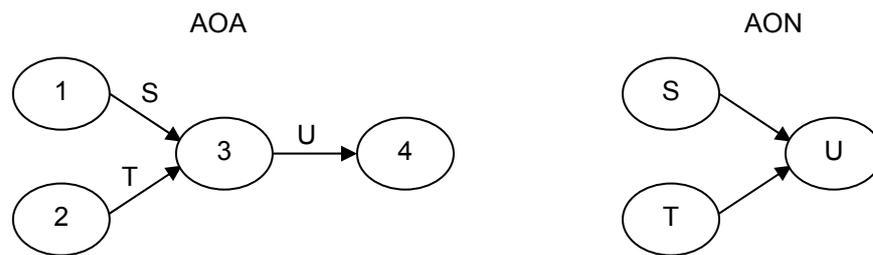


Figura 5 – Representação de redes de trabalho (adaptada de Krajewski & Ritzman, 1999).

A grande lacuna do PERT/CPM é que ele considera capacidade infinita, ou seja, os recursos demandados pelas atividades estão sempre disponíveis em qualquer momento em que elas forem programadas. Este fato, entretanto, nem sempre é compatível com a realidade (Elsayed & Boucher, 1994; Alfares *et al.*, 1999).

Nesta seção são apresentadas, num primeiro momento, as técnicas de gerenciamento de projetos com capacidade infinita, representadas pelo PERT/CPM. Em seguida, são apresentadas técnicas que consideram capacidade finita.

### 2.3.1 PERT/CPM – capacidade infinita

O PERT/CPM define as datas de início e conclusão de cada atividade e o tempo de duração do projeto, considerando a seqüência das atividades apresentada na rede de

trabalho. Para tal, utilizam-se as seguintes definições (Krajewski & Ritzman, 1999; Fitzsimmons & Fitzsimmons, 1998; Elsayed & Boucher, 1994):

- Dia de início mais cedo ( $ES$ ): é o dia mais cedo que uma atividade pode iniciar, considerando que todas atividades precedentes iniciem em seus dias mais cedo.
- $td$ : tempo de duração da atividade.
- Dia de conclusão mais cedo ( $EF$ ): é o dia em que a atividade é concluída considerando que ela inicia no dia de início mais cedo. Assim, tem-se que:

$$EF = ES + td \quad (60)$$

$$ES = \max (EF \text{ das atividades imediatamente precedentes}) \quad (61)$$

Com isto tem-se o dia de conclusão do projeto, que consiste no dia de conclusão mais cedo da última atividade do projeto. Considerando que o dia de conclusão mais cedo da última atividade é também o dia mais tarde que ela pode ser concluída de forma a não atrasar o projeto, pode-se calcular:

- Dia de conclusão mais tarde ( $LF$ ): é o dia mais tarde que uma atividade pode ser concluída sem atrasar as atividades sucessoras.
- Dia de início mais tarde ( $LS$ ): é o dia mais tarde que uma atividade pode iniciar, considerando o dia mais tarde que ela pode ser concluída. Assim, tem-se que:

$$LS = LF - td \quad (62)$$

$$LF = \min (LS \text{ das atividades imediatamente sucessoras}) \quad (63)$$

- Folga ( $TS$ ): é o tempo que uma atividade pode ser atrasada sem atrasar o dia de conclusão do projeto. É calculada por:

$$TS = LS - ES = LF - EF \quad (64)$$

As atividades que possuem  $TS = 0$ , ou seja, não possuem folga, formam o caminho crítico. O caminho crítico é a seqüência de atividades que não podem ser atrasadas para que o projeto também não atrase. Essas atividades são chamadas de atividades críticas e devem ter prioridade na utilização de recursos, necessitando uma maior atenção gerencial. (Fitzsimmons & Fitzsimmons, 1998; Krajewski & Ritzman, 1999; Elsayed & Boucher, 1994).

O caminho crítico também pode ser encontrado através da utilização de programação linear (Elsayed & Boucher, 1994). Para tal, definem-se:

$td_{ij}$  : tempo de duração da atividade contida entre os nós  $i$  e  $j$ , com  $i = 1, 2, \dots, I$  e  $j = 1, 2, \dots, J$ , sendo que  $J = I$ .

$x_{ij}$  : 1, se a atividade contida entre os nós  $i$  e  $j$  for atividade do caminho crítico; 0, caso contrário.

Função objetivo:

$$Max z = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J td_{ij} x_{ij} \quad (65)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^J x_{1j} = 1 \quad (66)$$

$$-\sum_{i=1}^I x_{ik} + \sum_{j=1}^J x_{kj} = 0, \quad \text{com } k \neq 1, J \quad (67)$$

$$\sum_{i=1}^I x_{iJ} = 1 \quad (68)$$

A função objetivo [equação (65)] procura a seqüência de atividades com maior tempo de duração. A eq. (66) permite que o caminho crítico inicie na primeira atividade do projeto. A eq. (67) garante a preservação da seqüência, ou seja, garante que toda atividade que tenha uma atividade precedente tenha uma sucessora. A eq. (68) permite o caminho crítico termine na última atividade do projeto. O caminho crítico é formado pelas atividades que possuírem  $x_{ij} = 1$ .

### **2.3.1.1 Considerações de custos**

Existem 3 categorias de custos em um projeto: custos diretos, custos indiretos e custos de penalidade. Os custos diretos são aqueles diretamente relacionados com as atividades do projeto, tais como custo com mão-de-obra e materiais. O tempo de cada atividade pode ser encurtado com o aumento de custos diretos, através de, por exemplo, utilização de hora-extra e maior contratação de pessoal. Os custos indiretos são aqueles que podem ser reduzidos através da redução do tempo de projeto; estes custos incluem o aluguel de equipamentos, seguro e depreciação. Os custos de penalidade consistem em

multas caso o projeto não finalize até uma data específica ou bônus, caso ele finalize antes da data prevista (Fitzsimmons & Fitzsimmons, 1998).

No PERT/CPM, considera-se que cada atividade possui um custo direto normal ( $NC$ ) e um custo acelerado ( $CC$ ). O custo normal é o custo direto da atividade em tempo normal ( $NT$ ), ou seja, no tempo necessário para completar a atividade em condições normais. O custo acelerado é o custo direto para executar a atividade no menor tempo possível, chamado tempo acelerado ( $CT$ ). Considerando que os custos diretos reduzem linearmente com o aumento do tempo de duração da atividade no intervalo entre  $CT$  e  $NT$ , pode-se calcular o “custo pressa” (Krajewski & Ritzman, 1999). O “custo pressa” ( $S$ ) é o custo direto para reduzir o tempo da atividade em uma unidade, sendo dado por:

$$S = \frac{CC - NC}{NT - CT}. \quad (69)$$

Quando se quer reduzir o tempo de um projeto, deve-se optar por reduzir os tempos das atividades do caminho crítico que possuem o menor “custo pressa”. Para tal, Fitzsimmons & Fitzsimmons (1998) apresentam o seguinte procedimento:

- **Passo 1:** Calcular o “custo pressa” de cada atividade.
- **Passo 2:** Listar todos os caminhos da rede de projetos com seus tempos normais.
- **Passo 3:** Reduzir em uma unidade de tempo a atividade do caminho crítico de menor “custo pressa”. Registrar o custo total (direto + indireto + penalidade) do projeto com o novo tempo de duração.
- **Passo 4:** Atualizar a duração de cada caminho da rede de projeto.
- **Passo 5:** Se a atividade alcançou seu menor tempo possível ( $CT$ ), marcá-la com um asterisco e não considera-la mais como candidata.
- **Passo 6:** Se todas as atividades do caminho crítico possuírem asterisco, PARAR; caso contrário, VOLTAR ao passo 3.

Com este procedimento, determinam-se quais as atividades devem ser aceleradas para reduzir o tempo de duração do projeto de forma que ele tenha o tempo de duração desejado ou um custo menor (Abbasi & Mukattash, 2001).

### 2.3.1.2 Estimativa de tempos

Os tempos de duração das atividades são geralmente variáveis aleatórias associadas a uma distribuição de probabilidade. Desta forma, não se conhece o tempo de duração exato das atividades antecipadamente ou do projeto como um todo (Fitzsimmons & Fitzsimmons, 1998).

No PERT/CPM, consideram-se três estimativas de tempo para cada atividade: tempo otimista ( $ta$ ), tempo mais provável ( $tm$ ) e tempo pessimista ( $tb$ ). O tempo otimista é o menor tempo necessário para execução da atividade considerando que tudo transcorra da melhor maneira possível, ou seja, sem que nenhuma complicação ou problema ocorra. O tempo mais provável é o tempo que a atividade deve ocorrer em condições normais. O tempo pessimista é o máximo tempo que uma atividade pode consumir, considerando as piores condições possíveis (Elsayed & Boucher, 1994).

As três estimativas de tempo são utilizadas para determinação de um tempo de duração esperado ( $te$ ). Considera-se que o  $ta$  e o  $tb$  possuem a mesma probabilidade de ocorrer, enquanto o  $tm$  é quatro vezes mais provável de ocorrer que os outros dois. Esta consideração caracteriza uma distribuição de probabilidade Beta, com valor esperado ( $te$ ) calculado por (Elsayed & Boucher, 1994):

$$te = \frac{ta + 4tm + tb}{6} \quad (70)$$

Para o cálculo do desvio padrão, considera-se que 98% da distribuição dos tempos estão contidos no intervalo de tempo entre  $ta$  e  $tb$ . Desta forma, a diferença entre  $ta$  e  $tb$  contém 6 desvios padrão (Fitzsimmons & Fitzsimmons, 1998):

$$\sigma_{te} = \frac{ta - tb}{6} \quad (71)$$

onde:

$\sigma_{te}$ : desvio padrão de  $te$ .

A variância do tempo de duração das atividades ( $\sigma_{te}^2$ ) é, portanto, dado por:

$$\sigma_{te}^2 = \frac{(ta - tb)^2}{36} \quad (72)$$

Para determinação do tempo de duração do projeto, considera-se que os tempos de duração de cada atividade são independentes, ou seja, o tempo de duração de uma atividade não depende do tempo de outra. A partir desta consideração, pode-se utilizar o teorema do limite central para calcular o tempo médio e a variância das atividades no caminho crítico (Krajewski & Ritzman, 1999):

$$TE = \sum (\text{tempo de duração das atividades do caminho crítico}) \quad (73)$$

$$\sigma_{TE}^2 = \sum (\text{variância do tempo de duração das atividades do caminho crítico}) \quad (74)$$

onde:

$TE$  = tempo médio de duração do projeto, considerando que ele possua uma distribuição normal de probabilidade

$\sigma_{TE}^2$  : variância do tempo de duração do projeto

Como  $TE$  e  $\sigma_{TE}^2$  são os parâmetros de uma distribuição normal, pode-se determinar a probabilidade de finalizar o projeto em um tempo  $T$  qualquer a partir do valor de  $z$ . O valor de  $z$  corresponde à variável normal padronizada e o valor de probabilidade associado a  $z$  pode ser encontrado em tabelas e calculado por (Krajewski & Ritzman, 1999):

$$z = \frac{T - TE}{\sqrt{\sigma_{TE}^2}} \quad (75)$$

Alguns estudos têm sido desenvolvidos com intuito de melhorar a precisão do cálculo do tempo de duração de um projeto e sua probabilidade de ocorrência. Entre eles pode-se citar Premachandra (2001), Schmidt & Grossmann (2000) e Pontrandolfo (2000). Abbasi & Mukattash (2001), por sua vez, apresentam um modelo matemático que integra conceitos de aceleração do tempo das atividades e aleatoriedade dos tempos de duração. Neste estudo, o tempo pessimista de uma atividade é minimizado conforme o custo da atividade é aumentado. Esta minimização do tempo pessimista resulta na redução do tempo de duração do projeto e da sua variância.

Goldratt (1998) desenvolveu uma nova abordagem para considerações sobre o tempo de duração de um projeto. Ele considera que o projeto deve ser visto como um todo, e não como um conjunto de atividades independentes. A determinação de um tempo esperado e de um desvio padrão para cada atividade permite calcular um tempo de segurança para cada atividade. Goldratt (1998) defende que se deve programar o

projeto com um tempo esperado e, no final do projeto, acrescentar um tempo de segurança global para possíveis eventualidades. Suas idéias são amplamente baseadas em aspectos comportamentais dos envolvidos nos projetos. Alguns autores, tais como Hoel & Taylor (1999) e Rand (2000), têm desenvolvido estudos baseados na abordagem de Goldratt (1998).

### **2.3.2 Técnicas de gerenciamento de projetos com capacidade finita**

Quando existem restrições de recursos em um projeto, o tempo de duração do projeto tende a aumentar, pois a data de início e final de cada atividade vai depender da disponibilidade dos recursos. Soluções ótimas, nesses casos, são de difícil obtenção. Usualmente são utilizadas heurísticas para solução desses problemas (Elsayed & Boucher, 1994).

Quando a variável recurso é considerada na programação de projetos, pode existir a disputa entre duas ou mais atividades por um recurso em um determinado momento. Para resolver o conflito, é necessário utilizar regras de prioridade (Khamooshi, 1996; Shi & Deng, 2000). Elsayed & Boucher (1994) apresentam várias regras para priorização das atividades. Essas regras são baseadas principalmente nos tempos e na quantidade de recursos demandados por todas as atividades que compõem os caminhos da atividade em questão até o fim do projeto (ou seja, das atividades sucessoras). Genericamente, atividades sucessoras com maiores tempos de duração possuem maior prioridade. Estas regras normalmente visam reduzir o tempo de duração do projeto.

Definidas as regras de prioridade, procede-se com a alocação das atividades ao longo do tempo, considerando a disponibilidade de recursos e a seqüência das atividades. Elsayed & Boucher (1994) apresentam um método para programação de projetos de atividades que disputam o mesmo recurso que será descrito utilizando-se as seguintes variáveis:

$t$  = período do tempo, onde  $t = 0, 1, \dots, TE$ , onde  $TE$  é o tempo de duração do projeto.

$td_i$  : tempo de duração da atividade  $i$ .

$ti_i$  : período de tempo em que a atividade  $i$  inicia.

$tf_i$ : período de tempo em que a atividade  $i$  termina.

$r_i$ : número de recursos demandados pela atividade  $i$ .

$R_t$ : número de recursos disponíveis no período  $t$ .

⇒ **Passo 1:** Formar uma lista com as atividades do projeto em ordem de prioridade.

⇒ **Passo 2:** Considerar  $t, ti_i, tf_i = 0$ , e determinar valor de  $td_i, r_i$  e  $R_t$ .

⇒ **Passo 3:** Selecionar a primeira atividade da lista que possua  $tf_i \neq 0$ .

⇒ **Passo 4:** Verificar se as atividades imediatamente antecessoras a atividade selecionada já foram executadas. Se sim, vá para o passo 6; se não, vá para o passo 5.

⇒ **Passo 5:** Selecionar a próxima atividade da lista e voltar ao passo 4.

⇒ **Passo 6:** Se  $r_i \leq R_t$ , vá para o passo 7; caso contrário, vá para o passo 8.

⇒ **Passo 7:** Calcular:

$$ti_i = t$$

$$tf_i = ti_i + td_i$$

$R_t' = R_t - r_i$  para  $t = ti_i, ti_i + 1, \dots, tf_i$ , onde  $R_t'$  são os recursos disponíveis atualizados para o período  $t$ .

⇒ **Passo 8:** Selecionar a próxima atividade da lista e voltar ao passo 4. Caso não exista mais atividade na lista, seguir para o passo 9.

⇒ **Passo 9:**  $t =$  ao menor  $tf_i$  que seja diferente de zero. Caso  $t$  seja igual ao  $t$  anterior, então  $t =$  ao segundo menor  $tf_i$  que seja diferente de zero.

⇒ **Passo 10:** Se alguma atividade possuir  $tf_i = 0$ , vá para o passo 3; caso contrário,  $TE =$  maior  $tf_i$  e chegou-se ao final da heurística.

Observa-se que o método descrito considera que as atividades utilizam apenas um tipo de recurso. Shi & Deng (2000), Ozdamar *et al.* (1998) e Ulusoy & Ozdamar *et*

*al.* (1995) apresentam métodos onde mais de um tipo de recurso é considerado. Alfares *et al.* (1999), por sua vez, integram a programação de projetos com restrição de recursos com o problema de programação de mão-de-obra.

Apesar da maioria das publicações sobre gerenciamento de projetos voltar-se para o contexto de um único projeto, muitos ambientes operam com mais de um projeto sendo executados simultaneamente. Em um ambiente multiprojeto, os projetos tendem a ser menores e podem ter grandes diferenças em termos de tamanho, habilidades necessárias e urgência (Payne, 1995).

Para programação de projetos que ocorrem simultaneamente, duas abordagens podem ser usadas: abordagem de multiprojeto e de projeto único. Na primeira, os projetos tratados independentemente. Na segunda, os projetos são vistos e programados como um único projeto adicionando-se dois eventos ao projeto: o de início, onde todas as atividades iniciais dos projetos podem ser iniciadas; e o de fim, onde todas as atividades finais dos projetos são finalizadas (Lova *et al.*, 2000).

Utilizando a abordagem multiprojeto, Elsayed & Boucher (1994) apresentam o seguinte método para a programação de  $N$  projetos que ocorrem simultaneamente:

- ⇒ **Passo 1:** Determinar a quantidade de recursos a ser alocada em cada projeto. Elsayed & Boucher (1994) sugerem que seja determinada uma porcentagem de importância para cada projeto (por exemplo: projeto A = 60% e B = 40%). O total de recursos disponíveis é rateado entre os projetos conforme a sua importância. Ao final do rateio deve-se verificar se a quantidade de cada recurso disponibilizado para cada projeto é maior que a demanda por estes recursos em cada atividade dos projetos. Caso isto não ocorra, deve-se ajustar a alocação dos recursos de forma a satisfazer esta condição.
- ⇒ **Passo 2:** Programar o projeto de maior porcentagem de importância (projeto A), como um único projeto, considerando apenas os recursos para ele disponibilizados.
- ⇒ **Passo 3:** Os recursos não utilizados em algum período para o projeto A devem ser disponibilizados para próximo projeto de maior porcentagem de importância (projeto B).

⇒ **Passo 4:** Repetir os passos 2 e 3 para o projeto B e para os subseqüentes, até que os  $N$  projetos estejam programados.

Maiores detalhes sobre as regras de prioridade para as atividades em um ambiente multiprojeto podem ser encontrados em Yang & Sum (1997). Os autores fazem uma avaliação do desempenho de várias regras em um ambiente multiprojeto através de simulação. Lova *et al.* (2000), por outro lado, apresentam um método heurístico para melhorar a alocação de recursos na programação de projetos que ocorrem simultaneamente.

Evaristo & Fenema (1999) propõem uma classificação para um ambiente de projetos que vai além da classificação de multiprojeto e projeto único. Em sua classificação, os autores consideram o local onde os projetos são executados. Um projeto único pode ser executado em um único local ou ter suas atividades distribuídas em diferentes locais. Já para multiprojetos, as seguintes situações são consideradas: todos projetos em um mesmo local; cada projeto em um local diferente; alguns projetos em um mesmo local e outros em locais diferentes; projetos com atividades distribuídas em diferentes locais, todos diferentes entre si; projetos com atividades distribuídas em diferentes locais, com possibilidade de atividades de um projeto serem executadas no mesmo local que atividades de outro projeto. Ou autores sugerem que diferentes técnicas sejam desenvolvidas para tratar com esses diferentes ambientes de projeto.

# CAPÍTULO 3

## 3 MÉTODO

### 3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Neste capítulo é apresentado um método de planejamento e programação de serviços. O método engloba tanto serviços de emergência quanto serviços que podem esperar em uma fila de espera. Para os serviços de emergência, que devem ser executados assim que surge a necessidade, são utilizados conceitos vinculados ao gerenciamento de serviços. Para os serviços que podem esperar em uma fila de espera (designados como serviços programáveis), alguns conceitos da manufatura e gerenciamento de projetos são utilizados.

Serviços emergenciais são aqueles que devem ser executados assim que surge a necessidade e para os quais não há uma previsão precisa de ocorrência. Conhece-se apenas a carga de trabalho que eles impõem ao prestador de serviços durante um determinado período de tempo.

Para os serviços programáveis suposições são feitas:

- Considerando as colocações e a classificação em Evaristo & Fenema (1999) quanto ao local de execução de projetos, definiu-se que cada serviço é executado em um local diferente, mas todas as atividades de um mesmo serviço são executadas em um mesmo local. Em consequência, existe o deslocamento das pessoas que executam o serviço até o local de execução e a consideração dos tempos de deslocamento.
- Os serviços são compostos por diferentes atividades, não sendo idênticos entre si e possuindo tempos de duração diferentes.

- O tempo de deslocamento (ida e volta) até o local de execução de serviço é menor que o tempo disponível em um dia de trabalho.
- Existe um prazo para a entrega do serviço. Esse prazo consiste em uma data limite, até a qual o serviço já deve ter sido executado, o que não impede que ele seja entregue com antecedência.
- Os serviços são divididos em fases, ou seja, um serviço pode não ser executado integralmente de uma só vez. As fases são definidas a partir de eventos que podem interromper a continuidade da prestação do serviço. Tais eventos podem ser, por exemplo: (i) a necessidade da presença do cliente durante algumas atividades do serviço, (ii) a utilização de um equipamento especial em algumas atividades, que não está disponível durante toda a prestação do serviço, ou (iii) a espera por algum pagamento do cliente. Estas fases, entretanto, possuem uma seqüência de execução, ou seja, a segunda fase não pode ser executada antes do término da primeira e assim por diante; a Figura 6 ilustra como são consideradas as fases. Pode-se observar que não existem fases ocorrendo em paralelo.

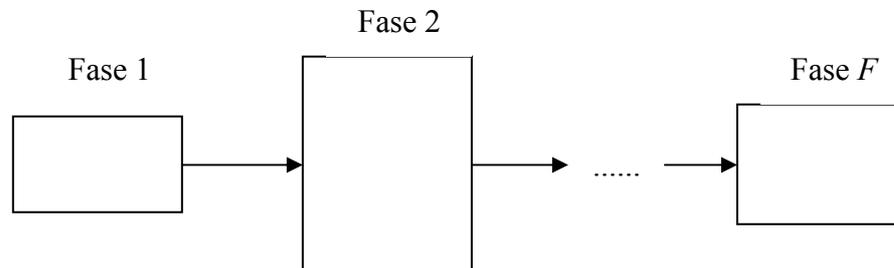


Figura 6 – Fases de um serviço

Cada fase é formada por um conjunto de atividades. Para cada fase deve ser considerado um tempo de deslocamento, a não ser que uma fase inicie no mesmo momento em que sua fase anterior tenha sido finalizada.

- As fases de um mesmo serviço podem ser executadas por um número diferente de funcionários (vide Figura 7). Nesse caso, o tempo de duração das atividades deve ser dividido entre os funcionários que executarão a fase, enquanto o tempo de deslocamento deve ser considerado para cada um dos funcionários; ou seja, para cada funcionário, tem-se um tempo de ida até o local de execução e um de volta.

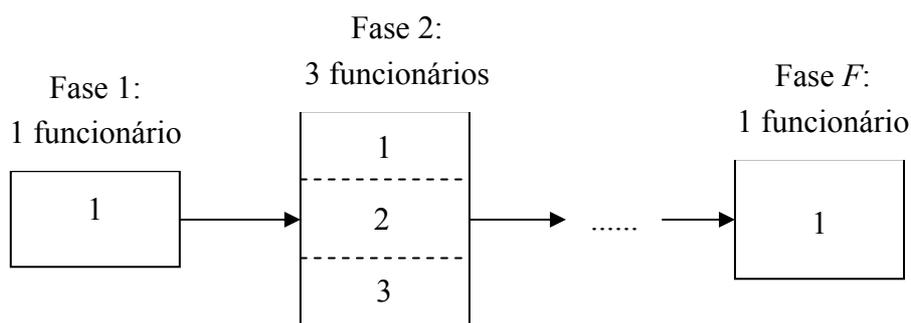


Figura 7 – Fases de um serviço com diferentes números de funcionários.

- Uma fase pode ter mais de um dia de duração (considerando que um dia corresponde às horas disponíveis em um dia). Neste caso, deve considerar que os funcionários que executam o serviço terão se deslocar até o local de execução mais de uma vez. O número de deslocamentos será igual ao número de dias de duração do serviço. O tempo de deslocamento deve ser considerado, portanto, em cada dia de execução.
- Uma fase pode ter uma data fixa de ocorrência (data em que ela deve necessariamente ocorrer).

Além das suposições apresentadas, pressupõe-se que os funcionários que executam os serviços trabalham o mesmo número de horas em cada dia de trabalho (8 hora por dia, por exemplo) e que todos possuem a mesma carga horária diária e os mesmos dias de folga.

A partir destas considerações, é apresentado o método desenvolvido para o planejamento e programação da prestação de serviços. No planejamento, considera-se o longo prazo e definem-se os serviços a serem executados em determinados períodos de tempo. A programação considera o médio e curto prazo, e define um cronograma diário de serviços a serem executados.

### 3.2 PLANEJAMENTO DE SERVIÇOS

O planejamento tem como objetivo principal amenizar as flutuações de demanda. Para tanto, utilizam-se períodos que possuem capacidade ociosa para o adiantamento de serviços. Isto é possível, já que os serviços agendados podem ser entregues antes do prazo determinado. Períodos de pico de demanda são também

identificados para que ações possam ser encaminhadas de forma a evitar a ocorrência de atrasos na entrega do serviço.

O horizonte de planejamento deve ser de longo prazo e definido conforme a necessidade da prestadora de serviço. O horizonte é dividido em  $P$  períodos e, a partir do planejamento, definem-se os serviços a serem executados em cada período.

Partindo dos conceitos apresentados por Carvalho *et al.* (1998) sobre a incerteza da demanda em função do horizonte de tempo considerado, definiram-se três estados em que a demanda de serviço pode ser encontrada:

⇒ **Programados:** são serviços que já possuem suas atividades, fases e número de funcionários que as executam definidos, ou seja, possuem um grau alto de detalhamento.

⇒ **Previstos:** são serviços que já foram solicitados, mas cujas atividades e fases ainda não foram detalhadas, ou seja, eles já existem mas possuem baixo grau de detalhamento.

⇒ **Estimados:** são serviços que ainda não foram solicitados, mas estima-se que irão ocorrer, com base em previsão de demanda.

Serviços emergenciais são estimados durante todo o planejamento. No momento em que eles se tornam previstos, ocorre o imediato atendimento do serviço. O detalhamento das atividades que integram os serviços emergenciais só é conhecido após sua execução.

Serviços programáveis são inicialmente estimados até que a solicitação do serviço ocorra. Neste momento, eles passam a ser considerados como previstos. Quando ocorre o detalhamento das atividades e das fases a serem executadas, eles passam a ser considerados como programados. O tempo que um serviço permanece em cada um desses estados varia conforme seu prazo de entrega: serviços de longo prazo permanecem menos tempo no estado estimado, pois são conhecidos com bastante antecedência, mas podem permanecer um longo tempo no estado previsto, já que não se tem urgência para o detalhamento do serviço. Serviços de curto prazo permanecem um maior tempo no estado estimado e devem permanecer pouco tempo no estado previsto,

já que quando tornam-se previstos devem ser entregues rapidamente. Desta forma, definem-se três tipos demanda conforme o prazo de entrega do serviço: curto, médio e longo prazo.

O planejamento considera a capacidade disponível do prestador de serviços durante cada período e o prazo e capacidade demandada pelos serviços. A capacidade demandada é definida de formas distintas, conforme o estado em que o serviço se encontra. Para serviços em estado programado, pode-se calcular detalhadamente a capacidade demandada, considerando o tempo de duração das atividades, o tempo de deslocamento, o número de funcionários que executam o serviço e o número de deslocamentos necessários. Para os serviços em estado previsto, considera-se um tempo previsto, correspondente ao tempo que o prestador de serviços estima ser necessário para sua execução. Para serviços em estado estimado, considera-se uma reserva de horas para cada período do planejamento. Tal reserva consiste de uma previsão de carga horária a ser demandada por serviços ainda não solicitados. É feita uma reserva de horas para serviços emergenciais e para cada tipo de serviço programável (curto, médio e longo prazo).

As variáveis consideradas no planejamento são:

$Y$ : número de funcionários disponíveis para execução dos serviços.

$Cdia$ : capacidade disponível em cada dia de trabalho (em horas).

$du_p$ : número de dias úteis de trabalho no período  $p$  do planejamento, onde  $p = 1, 2, \dots, P$ .

$C_p$ : capacidade disponível no período  $p$ , calculada por:

$$C_p = Y \times Cdia \times du_p \quad (76)$$

$CL_p$ : capacidade líquida disponível no período  $p$ . Inicialmente  $CL_p = C_p$ , sendo atualizado durante a realização do planejamento.

$pp_t$ : prazo mínimo do serviço do tipo  $t$  (em dias), onde:

$t = 1$ , para serviços emergenciais.

$t = 2$ , para serviços programáveis de curto prazo.

$t = 3$ , para serviços programáveis de médio prazo.

$t = 4$ , para serviços programáveis de longo prazo.

O valor inicial de  $pp_1$  é zero (visto que é emergencial); os demais valores são informados pelo planejador.

$RC_{tp}$ : reserva de capacidade (em horas) para serviços do tipo  $t$  que possuem prazo de entrega no período  $p$ .

$dp$ : data em que o planejamento está sendo executado.

$dl_i$ : prazo para entrega (data limite para entrega) do serviço  $i$ , com  $i = 1, 2, \dots, I$ .

$tp_i$ : tempo previsto para a execução do serviço  $i$  (utilizada apenas para serviços em estado previsto).

$td_{fi}$ : tempo de duração das atividades da fase  $f$  do serviço  $i$  (em horas \* funcionário), onde  $f = 1, 2, \dots, F$  (utilizada apenas para serviços em estado programado).

$Yd_{fi}$ : número de funcionários que executarão a fase  $f$  do serviço  $i$  (utilizada apenas para serviços em estado programado).

$dm_{fi}$ : data fixa para ocorrência da fase  $f$  do serviço  $i$  (utilizada apenas para serviços em estado programado). Esta informação é opcional; caso não haja data fixa,  $dm_{fi} = 0$ .

$tt_i$ : tempo de deslocamento da base do prestador de serviço até o local em que o serviço  $i$  será executado (conhecido apenas para serviços em estado programado).

$fHE$ : tempo (em horas) que um funcionário pode trabalhar além de sua carga horária diária normal para finalizar uma fase (para evitar novo deslocamento em outro dia).

$Cd_{fi}$ : capacidade demandada pela fase  $f$  do serviço  $i$ , calculada por:

$$Cd_{fi} = 2 \times tt_i \times E_{fi} \times Yd_{fi} + td_{fi} \quad (77)$$

onde  $E_{fi}$  é o número de dias que os funcionários terão que ir até o local do serviço  $i$  para completar a fase  $f$  (nº de deslocamentos necessários), calculado por:

$$E_{fi} = \begin{cases} a, & \text{se } a \geq 1 \\ 1, & \text{se } a < 1 \end{cases} \quad (78)$$

onde:

$$a = \left[ \frac{\left( \frac{td_{f_i} - fHE}{Yd_{f_i}} \right)}{\frac{Cdia}{1 - \frac{2 \times tt_i}{Cdia}}} \right] = \frac{td_{f_i} - Yd_{f_i} \times fHE}{Yd_{f_i} * (Cdia - 2 \times tt_i)} \quad (79)$$

$Cd_i$ : capacidade demandada pelo serviço  $i$ . Para serviços em estado previsto,  $Cd_i = td_{f_i}$ . Para serviços em estado programado,  $Cd_i = \sum_{f=1}^F Cd_{f_i}$ .

$Cd_{tp}$ : capacidade demandada por todos os serviços conhecidos (em estado previsto ou programado) do tipo  $t$  que possuem prazo de entrega no período  $p$ .

A reserva de capacidade para os diferentes tipos de serviço é baseada em previsão de demanda da ocorrência dos serviços ao longo do período. Entretanto, alguns dos serviços incluídos na previsão podem já ter sido solicitados. A reserva de capacidade deve, portanto, ser atualizada, através dos seguintes passos, para cada tipo de serviço  $t$ :

**Passo 1:** defina  $p = 1$ , onde  $p$  é o índice que define o período de planejamento das variáveis  $CL_p$ ,  $RC_{tp}$ ,  $Cd_{tp}$ , etc.

**Passo 2:** se  $t = 1$  (valor do índice referente a serviço emergencial), vá para o passo 4.

**Passo 3:** se  $(dp + pp_t)$  for data pertencente a um período posterior a  $p$ ; então execute  $RC_{tp} = 0$  e vá para o passo 5; caso contrário, vá para o passo 4 (este passo verifica se há possibilidade de novo serviço do tipo  $t$  ser solicitado no período  $p$ ).

**Passo 4:** se  $RC_{tp} - Cd_{tp} \geq 0$ , então execute  $RC_{tp} = RC_{tp} - Cd_{tp}$ ; caso contrário, execute  $RC_{tp} = 0$  (este passo atualiza da reserva de capacidade conforme a capacidade demandada por serviços já solicitados).

**Passo 5:** execute  $p = p + 1$  (passa para próximo período). Se  $p > P$ , chegou-se ao fim da atualização dos valores de reserva de capacidade; caso contrário, vá para o passo 2.

Com a reserva de capacidade atualizada, pode-se realizar o planejamento. Para o planejamento os seguintes passos são definidos:

**Passo 1:** defina  $p = 1$  (primeiro período do planejamento).

**Passo 2:** execute  $CL_p = CL_p - \sum_{i=1}^4 RC_{ip}$  (atualiza a capacidade líquida disponível do período  $p$  através do desconto das reservas de capacidade).

**Passo 3:** execute  $p = p + 1$  (passa para próximo período). Se  $p > P$ , vá para o passo 4; caso contrário, vá para o passo 2.

**Passo 4:** liste todos os serviços conhecidos (em estado previsto ou programado) em ordem crescente de  $dl_i$ .

**Passo 5:** selecione o primeiro serviço  $i$  da lista.

**Passo 6:** se for serviço em estado programado, vá para o passo 7; caso contrário, vá para o passo 20.

**Passo 7:** se alguma fase do serviço  $i$  possuir  $dm_{fi} \neq 0$  (ou seja, possuir data fixa para ocorrência), vá para o passo 8; caso contrário, vá para o passo 20.

**Passo 8:** selecione a primeira fase do serviço  $i$  para a qual  $dm_{fi} \neq 0$ ; esta fase será designada por  $f'$ .

**Passo 9:** defina  $p =$  período em que se encontra o  $dm_{fi}$  da  $f'$ .

**Passo 10:** aloque o serviço  $i$  no período  $p$  do planejamento e execute  $CL_p = CL_p - \sum_{f=1}^{f'} Cd_{fi}$  (atualiza a capacidade líquida disponível do período  $p$ ).

**Passo 11:** execute  $f = f' + 1$  (seleciona fase posterior a  $f'$ ).

**Passo 12:** se  $f > F$  (ou seja, não existe mais fases neste serviço), retire o serviço  $i$  da lista de serviços e vá para o passo 20; caso contrário, vá para o passo 13.

**Passo 13:** se  $dm_{f_i} \neq 0$  (isto é, no caso da fase possuir data fixa), vá para o passo 15; caso contrário, vá para o passo 14.

**Passo 14:** execute  $CL_p = CL_p - Cd_{f_i}$  (aloca capacidade demandada pela fase  $f$  no período  $p$ ),  $f = f + 1$  (passa para a próxima fase) e vá para o passo 12.

**Passo 15:** se  $dm_{f_i}$  pertence ao período  $p$ , vá para o passo 14; caso contrário, vá para o passo 16.

**Passo 16:** defina  $p =$  período em que se encontra a  $dm_{f_i}$ .

**Passo 19:** aloque o serviço  $i$  no período  $p$  do planejamento e vá para o passo 14.

**Passo 20:** selecione próximo serviço da lista e vá para o passo 6. Caso não houver um próximo serviço na lista, vá para o passo 21.

**Passo 21:** defina  $p = 1$  (primeiro período do planejamento).

**Passo 22:** selecione o primeiro serviço da lista. Se não houver serviços na lista, chegou-se ao **fim do planejamento**.

**Passo 23:** se  $CL_p - Cd_i \geq 0$  (se houver capacidade disponível no período  $p$  para a alocação do serviço  $i$ ), execute o passo 24 e vá para o passo 22; caso contrário, vá para o passo 25.

**Passo 24:** aloque o serviço  $i$  no período  $p$  do planejamento, execute  $CL_p = CL_p - Cd_i$  (atualiza capacidade líquida disponível do período  $p$ ) e retire serviço  $i$  da lista de serviço.

**Passo 25:** se  $dl_i$  pertence ao período  $p$ , execute o passo 24 e vá para o passo 22; caso contrário, vá para o passo 26.

**Passo 26:** se  $CL_p \leq 0$  (não existe capacidade disponível no período  $p$ ), vá para o passo 30; caso contrário, vá para o passo 27.

**Passo 27:** se  $p + 1 \leq P$ , vá para o passo 28; caso contrário, vá para o passo 29.

**Passo 28:** aloque o serviço  $i$  no período  $p$  e no  $p + 1$  do planejamento. Execute  $CL_{p+1} = CL_{p+1} - (Cd_i - CL_p)$  e, em seguida,  $CL_p = 0$  (ou seja, aloca-se toda capacidade possível no período  $p$  e o restante em  $p + 1$ ). Retire o serviço  $i$  da lista de serviços. Vá para o passo 30.

**Passo 29:** aloque o serviço  $i$  no período  $p$ . Execute  $CL_p = 0$  (zera a capacidade líquida, visto que o serviço  $i$  consome toda capacidade líquida disponível do período  $p$  e ainda não é finalizado). Retire o serviço  $i$  da lista de serviços. **Fim do planejamento.**

**Passo 30:** execute  $p = p + 1$  (passa para próximo período). Se  $p > P$ , chegou-se ao **fim do planejamento**; caso contrário, vá para o passo 22.

Como resultado final do planejamento, têm-se os serviços a serem executados em cada período  $p$ . Períodos que possuírem  $CL_p < 0$  são períodos onde existe pico de demanda.

### 3.3 PROGRAMAÇÃO DE SERVIÇOS

A programação gera um cronograma diário de serviços a serem executados por cada funcionário, procurando otimizar quatro aspectos: a maximização da utilização da capacidade disponível dos funcionários, a redução do deslocamento dos funcionários, a redução de atrasos na entrega dos serviços e a redução do *lead time* dos serviços. Isto é feito respeitando, em primeiro lugar, a data fixa para execução de fases, caso elas existam. Considera-se, ainda, que os mesmos funcionários executarão um serviço do início ao fim. O horizonte de programação deve ser, idealmente, de médio a curto prazo e definido conforme a necessidade da prestadora de serviço.

Devido ao detalhamento da programação gerada, apenas serviços em estado de programado são considerados. A única exceção refere-se a serviços emergenciais. Para estes, utiliza-se o conceito de reserva de capacidade.

Antes da programação dos serviços, calcula-se a data mais cedo de atendimento dos materiais para cada serviço. Tal data se baseia em dados do MRP, como materiais demandados pelos serviços, quantidades em estoque, recebimentos programados e *lead*

*times* de fornecedores. Definida a data mais cedo de atendimento de materiais, executa-se a programação dos serviços, de forma que os serviços não sejam alocados antes da data mais cedo de disponibilidade dos materiais. Com a programação dos serviços, tem-se a data de necessidade dos materiais e pode-se, então, executar a programação de compra e entrega dos materiais demandados pelos serviços. Nesta dissertação não serão apresentados o detalhamento do cálculo da data mais cedo de atendimento dos materiais e a programação de compra e entrega de materiais. A Figura 8 apresenta, de forma resumida, a relação entre o cálculo da data mais cedo de atendimento dos materiais, a programação de serviços e programação compra e entrega de materiais.

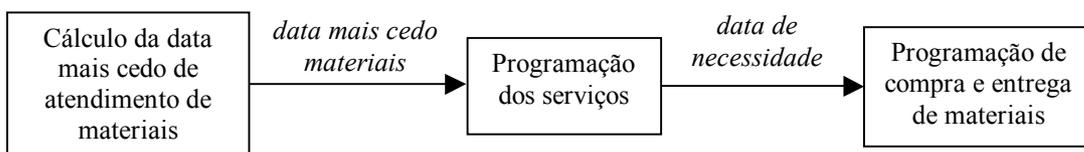


Figura 8 – Interação entre programação de serviços e programação de materiais.

Para a programação dos serviços, cinco grandes passos foram definidos: (i) priorização dos serviços, (ii) divisão da capacidade demandada pelos serviços entre os funcionários e divisão das fases em etapas, (iii) definição dos funcionários que executarão os serviços, (iv) alocação das reservas de capacidade para serviços emergenciais, e (v) geração do cronograma de serviços.

A priorização inicia com a definição de um grau de importância  $g$  para os serviços de cada período  $p$  do planejamento. O grau de importância visa diferenciar serviços que são prioritários para a prestadora de serviço. Serviços de clientes especiais, por exemplo, podem ter um  $g = 1$ , o que indica que eles devem ter uma prioridade maior. Alternativamente, pode-se atribuir um grau de importância maior a serviços cujo atraso incorra em multa para a empresa. A definição de  $g$  deve ser feita conforme estratégia da empresa. Pode-se observar que vários serviços podem ter o mesmo  $g$ . A priorização de serviços com o mesmo valor de  $g$  é feita considerando o seu prazo de entrega.

Uma fase, após ter sua capacidade demandada dividida entre os funcionários que a executarão, pode ter uma duração maior que um dia. Neste caso, a fase é dividida em etapas. Etapa é, portanto, a divisão da capacidade demandada por uma fase e um funcionário em tantos dias quantos forem necessários para sua execução. Tais divisões

consideram todos os tempos de deslocamento necessários para execução da fase. Pode-se observar que um serviço possui no mínimo uma fase, um funcionário e uma etapa. A capacidade demandada por uma etapa de uma fase para um funcionário será chamada de capacidade demandada por uma *parte*. Caso uma fase com data fixa para ocorrência possua mais de uma etapa, a primeira etapa permanece com a data fixa determinada e, para as etapas posteriores, fixam-se as datas dos dias imediatamente posteriores. Por fim, define-se a data mais cedo de cada *parte*, que é baseada na data mais cedo de atendimento de materiais, data fixa para ocorrência e data mais cedo da parte anterior. Caso uma data fixa seja anterior a data mais cedo, o serviço é retirado da programação e o programador é informado do problema.

A definição dos funcionários que executarão os serviços procura reduzir os tempos de deslocamento dos funcionários sem desconsiderar as prioridades dos serviços e sem sobre ou sub carregar determinados funcionários. Para tanto, divide-se a área atendida pela prestadora de serviços em regiões conforme as estradas de acesso da área. Uma região é formada por localidades (cidades ou bairros, por exemplo) muito próximos, cujas estradas de acesso são as mesmas. A partir desta divisão, procura-se alocar serviços de uma mesma região para um mesmo funcionário. Como algumas regiões podem ter um grande volume de serviços, enquanto outras um pequeno volume, uma região pode ser atendida por mais de um funcionário, assim como um funcionário pode atender mais de uma região. Quando um funcionário atende mais de uma região, procura-se alocá-lo em regiões próximas. Assim, para uma dada região, define-se a sua proximidade com as demais.

A simples alocação de um funcionário para execução dos serviços de uma região pode comprometer a prioridade dos serviços. Suponha que um funcionário atenda uma região que possua um serviço de alta prioridade e os demais de baixa prioridade. Após atender o serviço de alta prioridade, o funcionário iniciará o processamento daqueles de baixa prioridade. Enquanto isto, os outros serviços de alta prioridade (nas demais regiões) devem esperar pela disponibilidade de outro funcionário. Para evitar este problema, dividem-se os serviços de cada período  $p$  do planejamento em *grupos*. A alocação dos serviços para cada funcionário é feita, então, grupo a grupo, de forma que obras de baixa prioridade, que seriam executadas no final do período  $p$ , não fiquem no início da fila de serviço dos funcionários; isto ocorrerá apenas dentro de cada grupo. O critério definido para a formação dos grupos é dividir a capacidade demandada nos

períodos  $p$  em um número de grupos igual ao número de semanas contidas no horizonte de programação. A capacidade demandada em cada período é dividida proporcionalmente à capacidade disponível em cada semana, e as fases são alocadas em semanas. Cabe ressaltar que uma fase alocada em uma determinada semana não será programada necessariamente para aquela semana. No ajuste final, feito na geração do cronograma de serviços, ela pode passar para outra semana. Esta definição de semanas é utilizada exclusivamente na definição dos grupos.

Na definição dos funcionários que executarão os serviços também se utiliza o conceito de funcionário principal, secundário, terciário, etc. Funcionário principal de um determinado serviço é aquele que está presente na execução de todas as suas fases. Funcionário secundário é o que, juntamente com o principal, executará as fases do serviço que demandam 2 ou mais funcionários. Funcionário terciário é o que executará todas as fases do serviço que demandam 3 ou mais funcionários, e assim por diante.

As reservas de capacidade para serviços emergenciais de cada período  $p$  do planejamento são agora divididas entre as semanas e funcionários. Cada funcionário, em cada semana, recebe uma carga horária referente a reserva de capacidade para serviços emergenciais. Como não há uma previsão precisa de quando eles irão ocorrer, a divisão é proporcional a capacidade disponível em cada semana, e alocada no último dia útil da semana. Tal esquema de alocação tem duas justificativas: a primeira é que, como os serviços emergenciais podem ocorrer em qualquer momento, a execução dos serviços programada nos demais dias da semana pode ficar comprometida e, assim, tem-se uma capacidade disponível no último dia da semana para o ajuste do cronograma semanal; a segunda justificativa é que, conforme o último dia se aproxima, a capacidade disponível da semana se reduz, e não se corre o risco de chegar no último dia da semana sem serviços programados devido a grande carga horária reservada para serviços emergenciais.

Na geração do cronograma de serviços, cada *parte* de um serviço é alocada em um dia do seu respectivo funcionário executante. Procura-se, sempre que possível, alocar partes de um mesmo serviço em dias consecutivos, a fim de evitar longos *lead times* de execução dos serviços. Inicia-se alocando as fases que possuem data fixa e todas as suas fases anteriores. Existindo capacidade disponível, as partes das fases anteriores são alocadas nos dias imediatamente anteriores. Isso é feito sempre

verificando a data mais cedo de cada parte. Se a capacidade disponível entre uma data fixa e a data mais cedo das partes anteriores não for suficiente para a alocação das partes anteriores, aloca-se da mesma forma e informa-se ao programador da falta de capacidade nos respectivos dias. Sempre que duas ou mais partes de um serviço são alocadas em um mesmo dia para um mesmo funcionário, os tempos de deslocamento de cada parte são desconsiderados; considera-se apenas um tempo para ida e um para volta.

Alocadas as fases com datas marcadas e suas fases anteriores, alocam-se as demais fases. Para essa alocação, seleciona-se a primeira parte ainda não alocada da fila de serviços de cada funcionário e aloca-se no primeiro dia com capacidade disponível a partir da data mais cedo.

Para partes de fases com mais de um funcionário executante, aloca-se primeiro a parte referente ao funcionário principal e, em seguida, partes referentes aos demais. A definição do dia para alocação da parte é feita considerando a capacidade disponível de todos os funcionários executantes.

Além das variáveis já apresentadas no planejamento, as seguintes variáveis são consideradas na programação:

$g$ : grau de importância dos serviços, com  $g = 1, 2, \dots, G$ .

$g_{ip}$ : grau de importância do serviço  $i$  alocado no período  $p$  do planejamento.

$du_{sp}$ : número de dias úteis de trabalho da semana  $s$  que pertencem ao período  $p$  do planejamento, onde  $s = 1, 2, \dots, S$ , sendo  $S$  a última semana do horizonte de programação e pertencente a  $P$ .

$du_s$ : número de dias úteis de trabalho da semana  $s$ .

$C_{sp}$ : capacidade disponível na semana  $s$  que pertence ao período  $p$ , calculada por:

$$C_{sp} = Y \times Cdia \times du_{sp} \quad (80)$$

$Cd_p$ : capacidade demanda no período  $p$  do planejamento pelos serviços programados, ou seja, é o somatório da capacidade demanda por todos os serviços programados alocados no período  $p$ .

$C_{ys}$ : capacidade disponível do funcionário  $y$  na semana  $s$ , calculado por:

$$C_{ys} = Cdia \times du_s \quad (81)$$

$VF_{if}^t(k)$ : vetor (transposto) com informações da fase  $f$  do serviço  $i$ , representada por  $VF_{if}^t(k) = (r; ip; E; Yd; td; tt; dm; tu; dcm)$ , onde:

$r$ : região onde o serviço  $i$  deve ser executado.

$ip$ : índice de prioridade do serviço  $i$ , com  $ip = 1, 2, \dots, IP$  (definido na priorização dos serviços, inicialmente igual a zero).

$E$ : número de etapas da fase  $f$  do serviço  $i$ , que é igual ao nº de dias que os funcionários terão que ir até o local do serviço  $i$  para completar a fase  $f$  (calculada no planejamento).

$td$ : tempo de duração das atividades da fase  $f$  do serviço  $i$ .

$Yd$ : nº de funcionários que executarão a fase  $f$  do serviço  $i$ .

$tt$ : tempo de deslocamento da base do prestador de serviço até o local em que o serviço  $i$  será executado.

$dm$ : data fixa para ocorrência da fase  $f$  do serviço  $i$ . Caso não houver data fixa, considera-se igual a zero.

$tu$ : turno para ocorrência da fase  $f$  do serviço  $i$ , caso ele possua data fixa para ocorrência.

- $tu = 0$ , se  $dm = 0$  ou se não existe turno definido para ocorrência;
- $tu = 1$ , se o turno for manhã;
- $tu = 2$ , se o turno for tarde.

Esta variável tem como objetivo identificar se uma fase anterior ou posterior a uma fase de data fixa pode ser alocada no mesmo dia. A fase anterior poderá ser alocada no mesmo dia caso a fase de data fixa não ocorra pela manhã; a fase posterior caso a fase de data fixa não ocorra pela tarde.

$dcm$ : data mais cedo de materiais.

$MR(j,n)$ : matriz de proximidade entre as regiões  $j$  e  $n$ , com  $n$  e  $j = 1, 2, \dots, R$ . Quando  $n = j$  então  $MR(j,n) = 0$ . Se  $n$  e  $j$  são regiões próximas, então  $MR(j,n) = 1$ . Caso  $n$  e  $j$  forem regiões distantes,  $MR(j,n) = 2$ .

As seções que seguem apresentam os procedimentos dos cinco passos apresentados.

### 3.3.1 Priorização dos serviços

Na priorização dos serviços a seguinte variável é gerada:

$MF(m,k)$ : matriz das fases dos serviços em ordem de prioridade, com  $m = 1, 2, \dots, M$ , onde, inicialmente,  $M = 0$ . A matriz é composta dos seguintes vetores:

$$MF(m,k) = \begin{pmatrix} VF_{11}^t(k) \\ \vdots \\ VF_{IF}^t(k) \end{pmatrix} \quad (82)$$

Para sua execução definiram-se os seguintes passos:

**Passo 1:** defina  $p = 1$  (primeiro período do planejamento) e gere uma lista de prioridades que, inicialmente, se encontra vazia.

**Passo 2:** defina  $g = 1$  (primeiro grau de importância).

**Passo 3:** selecione todos os serviços  $i$  que possuem  $g_{ip} = g$ , ordene-os em ordem crescente de  $dl_i$  e coloque-os, nesta ordem, logo após o último serviço presente na lista de prioridade. Execute  $g = g + 1$  (ou seja, vá para o próximo grau de importância).

**Passo 4:** se  $g > G$ , execute  $p = p + 1$  (próximo período do planejamento) e vá para o passo 5; caso contrário, vá para o passo 3.

**Passo 5:** se  $p > P$ , vá para o passo 6; caso contrário, vá para o passo 2.

**Passo 6:** selecione o primeiro serviço  $i$  da lista de prioridades. Defina  $ip = 1$  (primeira prioridade),  $f = 1$  (primeira fase do serviço  $i$ ) e  $m = 1$  (primeira linha da matriz  $MF(m,k)$  que, neste momento, se encontra vazia).

**Passo 7:** execute  $VF_{if}^t(2) = ip$  (ou seja, defina a prioridade do serviço  $i$  selecionado no vetor  $VF_{if}^t(2)$ ). Aloque  $VF_{if}^t(k)$  em  $MF(m,k)$ . Execute  $f = f + 1$  (próxima fase do serviço  $i$ ).

**Passo 8:** se  $f > F$ , vá para o passo 9; caso contrário, execute  $m = m + 1$  (próxima linha da matriz  $MF(m,k)$ ) e vá para o passo 7.

**Passo 9:** selecione o próximo serviço  $i$  da lista de prioridades; se não existirem mais serviços na lista de prioridades, defina o número de linhas agora contidas na matriz  $MF(m,k)$  (ou seja, execute  $M = m$ ) e chegou-se ao **fim da priorização**.

**Passo 10:** defina  $ip = ip + 1$  (próximo índice de prioridades),  $f = 1$  (primeira fase do serviço  $i$ ) e  $m = m + 1$  (próxima linha da matriz  $MF(m,k)$ ). Vá para o passo 7.

### 3.3.2 Divisão da capacidade demandada pelos serviços entre os funcionários e divisão das fases em etapas

Na divisão da capacidade demandada pelos serviços entre os funcionários e divisão das fases em etapas as seguintes variáveis são geradas:

$Cdy_f$ : capacidade demanda pela fase  $f$  de um serviço  $i$  por funcionário executante.

$VP_z^t(x)$ : vetor (transposto) com informações da “parte”  $z$  (lembrando que uma parte representa uma etapa de uma fase de um serviço a ser executado por um funcionário), com  $z = 1, 2, \dots, Z$ . O vetor é representado por  $VP_z^t(x) = (i; r; ip; f; e; yd; Cd; dm; tu; dcm; al, dc)$ , onde:

$i$ : serviço ao qual pertence a parte.

$r$ : região onde o serviço  $i$  deve ser executado.

$ip$ : índice de prioridade do serviço  $i$ .

$f$ : fase do serviço  $i$  ao qual pertence a parte.

$e$ : número da etapa da fase  $f$  do serviço  $i$  ao qual pertence a parte.

$yd$ : variável que define se a parte pertence ao funcionário principal, secundário, terciário, etc., onde tem-se  $yd = 1$  para funcionário principal,  $yd = 2$  para funcionário secundário,  $yd = 3$  para terciário, e assim por diante.

$Cd$ : capacidade demandada pela parte.

$al$ : indica se a parte já foi alocada em um *grupo* (a alocação é feita no passo posterior – “Definição dos funcionários que executarão os serviços”).  $al = 0$  quando ainda não foi alocada e  $al = 1$  quando já foi (durante a “divisão da capacidade demandada pelos serviços entre os funcionários e divisão das fases em etapas”, permanece igual a zero)

$dc$  = data mais cedo para a alocação da parte, que depende da  $dcm$  e da  $dm$  ou  $dc$  da fase anterior.

$MP(z, x)$ : matriz de partes dos serviços em ordem de prioridade, onde, inicialmente,  $Z = 0$ . É representada por:

$$MP(z, x) = \begin{pmatrix} VP'_1(x) \\ \vdots \\ VP'_z(x) \end{pmatrix} \quad (83)$$

Para sua execução definiram-se os seguintes passos:

**Passo 1:** defina  $z = 1$  (primeira parte) e  $m = 1$  (primeira linha da matriz  $MF(m, k)$ ).

**Passo 2:** defina  $i =$  serviço  $i$  de  $MF(m, k)$  e  $f =$  fase  $f$  de  $MF(m, k)$ .

**Passo 3:** execute  $Cdy_{if} = 2 \times MF(m, 6) \times MF(m, 3) + \frac{MF(m, 5)}{MF(m, 4)}$ .

**Passo 4:** defina  $dm = MF(m, 7)$  (data fixa para ocorrência da fase) e  $e = 1$  (primeira etapa da fase).

**Passo 5:** se  $MF(m, 3) = 1$  (ou seja, fase possui apenas uma etapa), então defina  $Cd = Cdy_{if}$ ; caso contrário,  $Cd = Cdia$ .

**Passo 6:** defina  $yd = 1$  (funcionário principal).

**Passo 7:** execute  $MP(z, x) = VP'_z(x) = (i; MF(m, 1); MF(m, 2); f; e; yd; Cd; dm; MF(m, 8); MF(m, 9); 0; 0)$  e em seguida  $yd = yd + 1$ .

**Passo 8:** se  $yd > MF(m, 4)$ , execute  $e = e + 1$  (próxima etapa) e vá para o passo 9; caso contrário, execute  $z = z + 1$  (próxima parte) e vá para o passo 7.

**Passo 9:** se  $e > MF(m, 3)$ , execute  $m = m + 1$  (próxima linha da matriz  $MF(m, k)$ ) e vá para o passo 10; caso contrário, vá para o passo 11.

**Passo 10:** se  $m > M$  (não existe mais linhas em  $MF(m, k)$ ), então defina o número de linhas agora contidas na matriz  $MP(z, x)$  (ou seja, execute  $Z = z$ ) e vá para o passo 13; caso contrário, execute  $z = z + 1$  (próxima parte) e vá para o passo 2.

**Passo 11:** se  $MF(m,7) \neq 0$  (existe data fixa para ocorrência), execute  $dm = dm + 1$  (este passo é executado quando uma fase com data marcada possui mais que uma etapa).

**Passo 12:** se  $e = MF(m,3)$  (última etapa), então  $Cd = Cdy_{if} - [MF(m,3) - 1] \times Cdia$ ; caso contrário,  $Cd = Cdia$ . Execute  $z = z + 1$  (próxima parte) e vá para o passo 6.

**Passo 13-22:** o detalhamento destes passos encontra-se no anexo A 1.1.1. Através deles ocorre a definição da data mais cedo para execução de cada parte. Isto é feito considerando a data mais cedo dos materiais, datas fixas para execução (caso houver) e data mais cedo das fases anteriores à fase a qual a parte pertence. Cabe lembrar que a data mais cedo da parte de uma fase que possui uma fase anterior com data fixa será função do turno definido para ocorrência da fase anterior (se o turno for a tarde, a data mais cedo será no dia seguinte da data fixa da fase anterior; caso contrário, será no mesmo dia). Nestes passos também são identificados conflitos entre datas fixas e data mais cedo de material, caso isto ocorra. Ao final, tem-se o valor a ser alocado em cada linha da coluna  $x = 7$  da matriz  $MP(z, x)$ .

### 3.3.3 Definição dos funcionários que executarão os serviços

Na definição dos funcionários que executarão os serviços as seguintes variáveis são geradas:

$Cg_s$  : capacidade a ser alocada no grupo da semana  $s$ .

$MP_s(h, x)$  : matriz de partes que pertencem ao grupo da semana  $s$ , com  $h = 1, 2, \dots, H$ , onde, inicialmente,  $H = 0$ . É representada por:

$$MP_s(h, x) = \begin{pmatrix} VP_1^t(x) \\ \vdots \\ VP_H^t(x) \end{pmatrix} \quad (84)$$

onde  $VP_h^t(x)$  possui as mesmas informações que  $VP_z^t(x)$ , com exceção de  $VP_h^t(11) = al$ , que indica se a parte já foi alocada no grupo de sua região  $r$  (matriz  $MP_{rs}(v, x)$  - a ser definida a seguir).

$MP_{rs}(v, x)$  : matriz de partes da região  $r$  que pertencem ao grupo da semana  $s$ , com  $v = 1, 2, \dots, V$ , onde, inicialmente,  $V = 0$ . É representada por:

$$MP_{rs}(v,x) = \begin{pmatrix} VP'_1(x) \\ \vdots \\ VP'_v(x) \end{pmatrix} \quad (85)$$

onde  $VP'_v(x)$  possui as mesmas informações que  $VP'_z(x)$ , com exceção de  $VP'_v(11) = al$ , que indica se a parte já foi alocada em algum funcionário  $y$  (matriz  $MP_{ys}(l,x)$  - a ser definida a seguir).

$Cd_{rs}$ : capacidade demandada na região  $r$  pelas partes do grupo da semana  $s$ .

$VE_i(q)$ : vetor de funcionários que executam o serviço  $i$ , com  $q = 1, 2, \dots, Q$ , sendo  $VE_i(1)$  = funcionário principal do serviço  $i$ ,  $VE_i(2)$  = funcionário secundário do serviço  $i$ , e assim por diante. Para um serviço que já iniciou sua execução, tem-se os funcionários que o estão executando neste vetor. Para os demais, o vetor inicia com valores  $VE_i(q) = (0)$  e é preenchido no decorrer dos passos apresentados a seguir.

$\varphi$ : proximidade de regiões desejada, com  $\varphi = 0, 1, 2$ . Esta variável é utilizada para identificar, na matriz de proximidade entre regiões ( $MR(j,n)$ ), regiões próximas a região onde localizam-se os serviços a serem alocados. Inicia-se procurando por funcionários que estejam com serviços na mesma região ( $\varphi = 0$ ) dos serviços a serem alocados; se não houver, procura-se por funcionários que estejam com serviços em regiões próximas ( $\varphi = 1$ ); por fim, se necessário, selecionam-se funcionários que estejam com serviços em uma região distante ( $\varphi = 2$ ).

$VE_{rs}(a)$ : vetor que contém os funcionários que não estão aptos para executar as partes contidas em  $MP_{rs}(v,x)$  que ainda não foram alocadas em algum funcionário.  $a = 1, 2, \dots, A$ , sendo que, inicialmente,  $VE_{rs}(1) = 0$ . Este vetor é preenchido quando o funcionário selecionado já executa os serviços das partes não alocadas da matriz  $MP_{rs}(v,x)$  em uma categoria de funcionário diferente da categoria destas partes, ou possui problemas de capacidade disponível no momento em que foi selecionado.

$R_y$ : define região do último serviço alocado para o funcionário  $y$  como funcionário principal.

$MP_{ys}(l,x)$ : matriz de partes do grupo da semana  $s$  a serem executadas pelo funcionário  $y$ , com  $l = 1, 2, \dots, L$ , onde, inicialmente,  $L = 0$ . É representada por:

$$MP_{ys}(l, x) = \begin{pmatrix} VP_1^l(x) \\ \vdots \\ VP_L^l(x) \end{pmatrix} \quad (86)$$

onde  $VP_l^l(x)$  possui as mesmas informações que  $VP_z^l(x)$ , com exceção de  $VP_l^l(11) = al$ , que indica se a parte já foi alocada em um dia específico do funcionário  $y$  (a alocação é feita em passo posterior – “geração do cronograma de serviços”).

Para sua execução definiram-se os seguintes passos:

**Passo 1-5:** estes passos são detalhados no anexo A 1.2.1. Neles, executa-se a divisão da capacidade demanda dos serviços programados em grupos, proporcionalmente à capacidade disponível em cada semana. Assim, gera-se um número de grupos igual ao número de semanas do horizonte de programação. Como resultado, tem-se a capacidade a ser alocada em cada grupo ( $Cg_s$ ). Ao final destes passos, define-se  $s = 1$  (primeira semana),  $z = 1$  [primeira linha da matriz  $MP(z, x)$ , que representa a primeira parte da matriz] e segue-se para o passo 6.

**Passo 6-14:** nestes passos são alocadas as fases com data fixa e todas as fases anteriores a elas em seu respectivo grupo de semana. Fases com data fixa e suas fases anteriores são alocadas na semana à qual a data fixa pertence. O detalhamento dos passos é apresentado no anexo A 1.2.2. O resultado é o preenchimento de parte das matrizes  $MP_s(h, x)$ . Por fim, define-se  $s = 1$  (primeira semana),  $z = 1$  (primeira parte da matriz  $MP(z, x)$ ) e segue-se para o passo 15.

**Passo 15-21:** nestes passos são alocadas as fases não alocadas nos passos 6 a 14, conforme capacidade líquida disponível nos grupos de semana. O detalhamento é apresentado no anexo A 1.2.3. Esta alocação é feita considerando a sequência de fases ainda não alocadas da matriz  $MP(z, x)$ , a semana em que fases anteriores de mesmo serviço foram alocados e a capacidade líquida disponível em cada grupo de semana. Como resultado, tem-se a conclusão do preenchimento das matrizes  $MP_s(h, x)$ . Antes de passar para o passo 22, define-se  $s = 1$  (primeira semana),  $h = 1$  [primeira linha da matriz  $MP_s(h, x)$ ] e  $r = 1$  (define a região).

**Passo 22-26:** nestes passos, as fases alocadas em cada grupo de semana são separadas por região de execução. O detalhamento é dado no anexo A 1.2.4. Como resultado, tem-se a geração das matrizes  $MP_{rs}(v, x)$ . Por fim, define-se  $s = 1$  (primeira semana),  $r = 1$  (define a região),  $v = 1$  (primeira linha da matriz  $MP_{rs}(v, x)$ ) e segue-se para o passo 27.

**Passo 27-34:** partes dos serviços que já possuem seus funcionários para execução definidos são alocadas em seus respectivos funcionários. O detalhamento destes passos é apresentado no anexo A 1.2.5. O resultado é o preenchimento de parte das matrizes  $MP_{ys}(l, x)$ . Por fim, define-se  $r = 1$  (define a região),  $v = 1$  (primeira linha da matriz  $MP_{rs}(v, x)$ ) e segue-se para o passo 35.

**Passo 35-40:** estes passos são detalhados no anexo A 1.2.6. Eles procuram pela matriz  $MP_{rs}(v, x)$  que não possua nenhuma parte já alocada na matriz  $MP_{ys}(l, x)$  e possua a maior capacidade demandada. Ou seja, procura por região de maior capacidade demandada, em um determinado grupo de semana, que não possui nenhuma parte já alocada em algum funcionário. Se não existir nenhuma matriz  $MP_{rs}(v, x)$  nestas condições, segue-se para passo 41; caso contrário, segue-se para passo 49.

**Passo 41-48:** estes passos são detalhados no anexo A 1.2.7. Eles procuram pela matriz  $MP_{rs}(v, x)$  que possua a maior capacidade demandada ainda não alocada na matriz  $MP_{ys}(l, x)$ . Ou seja, procura por região de maior capacidade demandada por partes ainda não alocadas em um algum funcionário, em um determinado grupo de semana. Se todas as partes das matrizes  $MP_{rs}(v, x)$  da semana  $s$  já estão alocadas em algum funcionário, passa-se para próxima semana e segue-se para passo 27. Caso não haja mais grupos de semana  $s$ , chegou-se ao fim da definição dos funcionários. Se for encontrada uma matriz nas condições desejadas, segue-se para passo 49.

**Passo 49-53:** estes passos são detalhados no anexo A 1.2.8. Neles procura-se por uma região com “compatibilidade desejada” a região selecionada nos passos anteriores. Inicialmente a compatibilidade desejada é zero e seleciona-se a mesma região já selecionada nos passos anteriores. Se nos passos seguintes não se encontrar funcionários com capacidade líquida disponível positiva e com serviço alocado nesta região, retorna-

se a estes passos e procura-se por regiões de compatibilidade igual a um, ou seja, regiões próximas. Se novamente os funcionários não forem encontrados nos passos posteriores, retorna-se a estes passos e define-se a compatibilidade desejada como dois, ou seja, regiões distantes. Se ainda assim os funcionários não forem encontrados nos passos posteriores, retorna-se a compatibilidade zero e considera os funcionários com capacidade líquida disponível negativa. Se ainda assim não se encontrar funcionários nos passos posteriores, retorna-se a estes passos e define-se compatibilidade igual a 1 e, em último caso, igual a 2. Sempre que uma região com a compatibilidade desejada é encontrada, define-se  $y = 1$  (define funcionário) e segue-se para o passo 54.

**Passo 54-68:** nestes passos, procura-se pelo funcionário de maior capacidade líquida disponível que possui seu último serviço alocado na região de compatibilidade desejada selecionada nos passos anteriores. Verifica-se ainda se o funcionário a ser selecionado está apto a executar os serviços da matriz  $MP_{rs}(v, x)$ , através de checagem do vetor  $VE_{rs}(a)$ . O detalhamento dos passos é apresentado no anexo **A 1.2.9**. Se não for encontrado nenhum funcionário nas condições desejadas, retorna-se ao passo 52; caso contrário, segue-se para passo 69.

**Passo 69-72:** nestes passos (detalhados no anexo **A 1.2.10**) seleciona-se a parte do serviço da matriz  $MP_{rs}(v, x)$  a ser alocada no funcionário selecionado e verifica-se a categoria do funcionário que a executará. Se esta parte deve ser executada por funcionário principal, segue-se para passo 73; caso contrário, define-se  $q = 1$  (índice do vetor  $VE_i(q)$  que representa o funcionário principal) e segue-se para passo 81. Se não existirem mais partes na matriz  $MP_{rs}(v, x)$  a serem alocadas no funcionário selecionado, retorna-se ao passo 35.

**Passo 73-80:** Nestes passos (detalhados no anexo **A 1.2.11**), verifica-se se há capacidade para alocação de todas as partes da matriz  $MP_{rs}(v, x)$  que pertencem ao mesmo serviço  $i$  e possuem a mesma categoria de funcionário  $yd$  da parte selecionada nos passos anteriores. Se não houver, segue-se para passo 86. Se houver capacidade, estas partes são alocadas na matriz  $MP_{ys}(l, x)$  e o vetor  $VE_i(q)$  é atualizado com o funcionário que executa serviço  $i$ . Se, após a alocação, ainda houver capacidade líquida

disponível no funcionário  $y$ , segue-se para passo 69; caso contrário, define-se  $r = 1$  (define a região),  $v = 1$  (primeira linha da matriz  $MP_{rs}(v, x)$ ) e segue-se para passo 35.

**Passo 81-85:** O detalhamento destes passos é apresentado no anexo A 1.2.12. Neles é verificado se o funcionário selecionado já não executa o serviço da parte selecionada com outra categoria de funcionário. Se não executar, segue-se para o passo 73. Se executar, verifica-se se existem outros serviços na matriz  $MP_{rs}(v, x)$  a serem executados pelo funcionário selecionado. Se houver, retorna-se ao passo 69; caso contrário, retorna-se a passo 35.

**Passo 86-97:** Nestes passos (detalhados no anexo A 1.2.13) é verificado se a parte selecionada pertence ao primeiro ou último serviço da matriz  $MP_{rs}(v, x)$  ainda não alocado. Se pertencer ao primeiro ou último, retorna-se ao passo 74 e aloca-se o serviço no funcionário selecionado mesmo não havendo capacidade. Se não for, deslocam-se as partes do serviço que já foram alocadas, procura-se o próximo serviço e retorna-se ao passo 69. Caso não houver mais serviços na matriz  $MP_{rs}(v, x)$ , define-se  $r = 1$  (define a região),  $v = 1$  (primeira linha da matriz  $MP_{rs}(v, x)$ ) e retorna-se ao passo 35.

### 3.3.4 Alocação das reservas de capacidade para serviços emergenciais

Na alocação das reservas de capacidade para serviços emergenciais as seguintes variáveis são geradas:

$RCe_s$ : reserva de capacidade (em horas) para serviços emergenciais por funcionário para semana  $s$  ainda não alocado.

$CL_{yd}$ : capacidade líquida disponível do funcionário  $y$  no dia  $d$ .  
Inicialmente  $CL_{yd} = Cdia$ .

$MP_{dy}(w, x)$ : matriz de partes a serem executadas no dia  $d$  pelo funcionário  $y$ , com  $w = 1, 2, \dots, W$ , onde, inicialmente,  $W = 0$ . É representada por:

$$MP_{dy}(w, x) = \begin{pmatrix} VP_1^t(x) \\ \vdots \\ VP_W^t(x) \end{pmatrix} \quad (87)$$

onde  $VP'_w(x)$  possui as mesmas informações que  $VP'_z(x)$ , com exceção de  $VP'_w(11) = al$ , que permanecerá igual a zero.

O índice  $d$  refere-se apenas aos dias úteis.

Para sua execução definiram-se os seguintes passos:

**Passo 1:** defina  $p = 1$  (índice do primeiro período),  $s = 1$  (índice da primeira semana) e  $t =$  emergencial.

**Passo 2:** execute  $RCe_s = \frac{RC_{tp} \times C_{sp}}{Y \times C_p}$  (divisão da reserva de capacidade do

período  $p$  entre funcionários e semanas proporcionalmente a capacidade disponível em cada semana). Em seguida, execute  $s = s + 1$  (próxima semana).

**Passo 3:** se  $s$  pertence ao período  $p$ , vá para o passo 2; caso contrário, execute  $p = p + 1$  (próximo período) e vá para o passo 4.

**Passo 4:** se  $p > P$  ( $p$  não é mais período de programação), então  $s = 1$  (primeira semana) e vá para o passo 5; caso contrário, execute  $s = s - 1$  (semana anterior) e vá para o passo 2.

**Passo 5:** defina  $y = 1$  (índice de funcionário);  $d =$  último dia útil da semana  $s$  (índice de dia).

**Passo 6:** se  $\frac{RCe_s}{Cdia} \leq 1$  (reserva de capacidade para um funcionário na semana  $s$  pode ser alocada em apenas um dia), então defina  $Cd = RCe_s$  (capacidade demanda igual a reserva de capacidade); caso contrário, defina  $Cd = Cdia$  (capacidade demanda igual a capacidade disponível em um dia).

**Passo 7:** execute  $w = W + 1$  (seleciona índice da primeira linha vazia da matriz  $MP_{dy}(w, x)$ ),  $MP_{dy}(w, x) = VP'_w(x) = (emergencial; 0; 0; 0; 0; 0; Cd; 0; 0; 0; 0)$  [aloca reserva de capacidade para emergências na matriz  $MP_{dy}(w, x)$ ],  $CL_{yd} = CL_{yd} - Cd$  (atualiza capacidade disponível no funcionário  $y$  no dia  $d$ ),  $W = w$  (atualiza número de linhas da matriz  $MP_{dy}(w, x)$ ), e em seguida  $y = y + 1$  (próximo índice de funcionário).

**Passo 8:** se  $y > Y$  (todos funcionários já foram selecionados), execute  $RCe_s = RCe_s - Cd$  (atualiza valor de reserva de capacidade) e vá para o passo 9; caso contrário, vá para o passo 7.

**Passo 9:** se  $RCe_s = 0$  (se não houver mais reserva de capacidade não alocada), execute  $s = s + 1$  (próxima semana) e vá para o passo 10; caso contrário, execute  $d = d - 1$  (dia anterior) e vá para o passo 6.

**Passo 10:** se  $s$  pertence ao horizonte de programação, vá para o passo 5; caso contrário, chegou-se ao fim da alocação dos serviços emergenciais.

### 3.3.5 Geração do cronograma de serviços

Na geração do cronograma de serviços, além das variáveis apresentadas na seção 3.3.4, as seguintes variáveis são geradas:

$tda_{iyd}$ : tempo de deslocamento do serviço  $i$  já alocado no dia  $d$  do funcionário  $y$ . Inicialmente  $tda_{iyd} = 0$ . Esta variável é utilizada para descontar-se o tempo de deslocamento de um funcionário na execução de uma parte de um serviço em um determinado dia, caso ele já execute outra parte do mesmo serviço neste mesmo dia.

$dmc_i$ : data mais cedo para alocação do serviço  $i$ . Esta variável é utilizada para identificar a data da última alocação de uma parte de um serviço  $i$ . Assim, evita-se a alocação de partes posteriores em dias anteriores à última data de alocação. Inicialmente,  $dmc_i = 0$ .

Para sua execução definiram-se os seguintes passos:

**Passo 1-7:** Nestes passos (detalhados no anexo A 1.3.1) alocam-se todas as partes com data fixa para execução em uma determinada semana  $s$  em seus respectivos dias e funcionários (matriz  $MP_{dy}(w, x)$ ), mesmo se não houver capacidade disponível. Ao final, define-se  $y = 1$  (índice do primeiro funcionário),  $l = 1$  (índice da primeira linha da matriz  $MP_{ys}(l, x)$ ) e segue-se para passo 8.

**Passo 8-22:** Nestes passos (detalhados no anexo A 1.3.2) alocam-se as partes anteriores às partes com data fixa, alocadas nos passos anteriores, nos dias  $d$  dos

funcionários  $y$  (matriz  $MP_{dy}(w, x)$ ). Sempre que possível, procura-se alocá-las em dias imediatamente anteriores uma da outra. Caso não haja capacidade disponível suficiente para a alocação destas partes entre a data onde foi alocada a parte com data fixa e a data mais cedo destas partes, elas são alocadas na data mais cedo, mesmo não havendo capacidade disponível. Quando a parte selecionada é executada por mais de uma equipe, executa-se o passo 23 e retorna-se ao passo 21. Alocadas todas as partes anteriores de um determinado grupo de semana  $s$ , passa-se para próxima semana, define-se  $y = 1$  (índice do primeiro funcionário),  $l = 1$  (índice da primeira linha da matriz  $MP_{ys}(l, x)$ ) e retorna-se ao passo 2. Caso as partes anteriores de todos grupos de semana  $s$  já tenham sido alocados, define-se  $y = 1$  (índice do primeiro funcionário),  $s = 1$  (índice da primeira semana),  $l = 1$  (índice da primeira linha da matriz  $MP_{ys}(l, x)$ ) e segue-se para passo 24.

### **Passo 23:**

**Passo 23.1-23.7:** Estes passos são detalhados no anexo A 1.3.3.1. Neles, as partes correspondentes à última parte alocada executadas por outros funcionários (secundários, terciários, etc.) são alocadas no mesmo dia  $d$ , em seus respectivos funcionários  $y$  (matriz  $MP_{dy}(w, x)$ ), caso haja capacidade. Se houver capacidade para alocação no mesmo dia  $d$  para todos funcionários executantes, chegou-se ao fim do passo 23; caso contrário, segue-se para o passo 23.8. Nos casos em que a parte foi alocada no próprio funcionário principal sem haver capacidade disponível, alocam-se as demais partes nos outros funcionários, havendo ou não capacidade disponível, e finaliza-se o passo 23.

**Passo 23.8-23.11:** Nestes passos (também detalhados no anexo A 1.3.3.2), desalocam-se partes já alocadas em outros funcionários  $y$  no dia  $d$  (matriz  $MP_{dy}(w, x)$ ), caso algum deles não possua capacidade disponível para execução da parte neste dia.

**Passo 24-33:** Estes passos são detalhados no anexo A 1.3.4 e visam a alocação de partes ainda não alocadas em um dia específico de seu funcionário  $y$ . Procura-se alocar partes de um mesmo serviço em dias imediatamente posteriores conforme capacidade disponível. Quando não existe capacidade disponível em um determinado dia para alocação de uma determinada parte, e a parte pertence a fase com mais de uma

etapa, segue-se para o passo 34. Quando a parte alocada é executada por mais de uma equipe, executa-se o passo 23 e retorna-se ao passo 32. Após tentar-se alocar todas as partes existentes, chegou-se ao fim da geração do cronograma de serviços, mesmo que nem todas tenham sido alocadas por falta de capacidade disponível.

**Passo 34-36:** Estes passos (detalhados no anexo **A 1.3.5**) procuram pela última etapa da fase para tentar alocá-la no dia  $d$ . Isto porque a última etapa é a única etapa da fase que pode possuir um tempo de duração diferente e menor do que o da etapa em questão. Cabe lembrar que isto só pode ser feito pois as etapas de uma mesma fase não têm seqüência de execução, visto que são apenas parcelas de tempo de uma fase. Se houver capacidade no dia  $d$  para a alocação da última etapa, ela é alocada. Ao final, retorna-se ao passo 29.

Ao final da programação de serviços, têm-se os serviços a serem executados por cada funcionário em cada dia. A data da primeira parte de um serviço é a data de necessidade de materiais. A data da última parte de um serviço deve ser comparada a sua data limite de entrega; caso a data limite seja ultrapassada, deve-se ajustar o cronograma ou atualizar a data limite. Deve-se observar também os dias que possuem capacidade líquida negativa, para que ações corretivas possam ser tomadas.

## **CAPÍTULO 4**

### **4 VALIDAÇÃO PRÁTICA DO MÉTODO**

Neste capítulo é apresentada a validação prática do método proposto. Esta validação é realizada em uma empresa do setor elétrico do segmento de distribuição de energia elétrica. Para viabilizar a distribuição de energia, são necessárias obras de manutenção e investimento em redes primárias e secundárias de distribuição de energia. Para a validação do método é executado o planejamento e a programação destas obras.

Para a execução destas obras existem bases de operação ao longo da área de atuação da empresa. Cada base de operação é responsável pela execução de obras em um conjunto de cidades pré-determinadas. A validação considera apenas uma base de operação, já que a aplicação do método seria similar para as demais bases.

As bases de operação possuem equipes para execução de obras. Cada equipe é formada por sete eletricitas. O conceito de funcionários que executam o serviço apresentado no Capítulo 3 é, portanto, substituído pelo conceito de equipes que executam a obra.

As obras executadas por estas equipes são de manutenção emergencial, manutenção preventiva, melhoria de circuitos, participação de terceiros e obras de alimentadores. As manutenções emergenciais são as obras que devem ser atendidas assim que surge a necessidade, ou seja, são as emergências. Obras de manutenção preventiva e alimentadores têm sua necessidade definida pela empresa. No início de cada ano, faz-se o levantamento das obras de manutenção preventiva e alimentadores a serem necessárias para manter a rede nas condições desejadas. Obras de melhoria de circuito e participação de terceiros são solicitadas pelo cliente e possuem um prazo legal para execução. Para participação de terceiros, o prazo é de 45 dias. Para melhoria de

circuitos, o prazo pode ser de 60 ou 180 dias, dependendo da criticidade da obra. O não cumprimento do prazo legal implica em multa para a empresa.

As obras são compostas por um conjunto de atividades definidas no orçamento, ou seja, é no orçamento que as atividades são detalhadas. Elas têm uma duração que pode variar de menos de um dia a até três semanas, com exceção dos alimentadores, que possuem uma duração de um a dois meses.

Algumas atividades das obras necessitam do desligamento de energia em uma parte da rede para possibilitar a execução. Este desligamento faz com que os clientes atendidos pelos circuitos a serem desligados fiquem sem energia elétrica. Desta forma, os clientes devem ser informados com antecedência o dia e hora que o ele ocorrerá (exceto em casos de obras emergenciais). Para reduzir a duração da falta de energia junto aos clientes, procura-se colocar o maior número de equipes possível nas atividades que demandam desligamento. Antes da data e hora do desligamento são realizadas todas as atividades da obra que podem ser executadas com a rede elétrica ligada. Desta forma, o desligamento é caracterizado como um evento que interrompe a continuidade da execução das obras e, portanto, define as fases da obra.

#### **4.1 ADAPTAÇÕES DO MÉTODO**

O horizonte de planejamento definido pela empresa é de um ano com períodos  $p$  de um mês. A escolha do horizonte de planejamento decorre do fato das necessidades (obras de alimentadores e de manutenção preventiva) e orçamento disponível para obras serem definidos para um horizonte anual. O horizonte de programação é de dois meses, devido ao prazo das obras e ao *lead time* de alguns materiais demandados pelas obras. Para a validação, será considerado um horizonte de planejamento de três meses devido a grande quantidade de dados envolvidos no planejamento anual, o que tornaria a validação extensa e repetitiva.

Considerando as classificações das obras em programada, prevista e estimada, pode-se dizer que:

- Manutenções emergenciais: permanecem em estado estimado ao longo de todo horizonte de planejamento e programação.

- Alimentadores: são obras orçadas quando sua necessidade é definida, ou seja, todas os alimentadores a serem executados durante o ano já possuem orçamento. Essas obras estão, portanto, em estado de programadas ao longo de todo planejamento.

- Manutenções preventivas: são obras conhecidas (em estado de previstas) durante todo o horizonte de planejamento, que vão sendo orçadas conforme a necessidade.

- Participação de terceiros: são obras conhecidas 45 dias antes de seu prazo para execução. No restante do planejamento, permanecem em estado estimado. Por serem obras com pequeno prazo para execução, são orçadas assim que surge a necessidade.

- Melhoria de circuitos: para as que possuem prazo de 60 dias, a situação é similar a das obras de participação de terceiros. Obras que possuem prazo de 180 dias permanecem um menor tempo em estado estimado, pois são conhecidas com maior antecedência. Como seu prazo é maior, não necessitam ser orçadas assim que surge a necessidade.

Como a validação considera apenas três meses como horizonte de planejamento, as obras que se encontram em estado de estimado são: manutenção emergencial, participação de terceiro e melhoria de circuito com prazo de 60 dias. As demais são obras conhecidas ao longo do horizonte de planejamento e, portanto, não necessitam de reserva de capacidade.

Apesar das obras de alimentadores e manutenção preventiva não possuírem prazo legal para entrega, elas possuem uma data limite para ocorrência definida pela empresa. A data limite é definida com base na necessidade da obra, mas possui flexibilidade para mudança, caso seja necessária.

No método apresentado no Capítulo 3, os dias  $d$  considerados para alocação dos serviços restringiam-se aos dias úteis (dias de trabalho da empresa). Nas obras consideradas na validação, existe a possibilidade de fases terem seu dia fixo para execução em dias não úteis. Isto ocorre devido aos desligamentos de energia. Se os consumidores a serem desligados são indústrias, por exemplo, o desligamento é feito no final de semana, quando as indústrias não estão funcionando. Isto evita que a atividade dos consumidores seja prejudicada.

## 4.2 DADOS DE ENTRADA

As equipes que executam as obras trabalham em turno normal, de segunda a sexta-feira. Os meses considerados para o planejamento são Janeiro, Fevereiro e Março e, para a programação, Janeiro e Fevereiro. A Figura 9 apresenta o calendário considerado na validação. Os dias marcados em cinza são os dias não trabalhados pelas equipes, devido à folga ou a feriado.

	dom	seg	ter	qua	qui	sex	sáb
Janeiro		1	2	3	4	5	6
	7	8	9	10	11	12	13
	14	15	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	26	27
	28	29	30	31			
Fevereiro					1	2	3
	4	5	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	16	17
	18	19	20	21	22	23	24
	25	26	27	28			
Março					1	2	3
	4	5	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	16	17
	18	19	20	21	22	23	24
	25	26	27	28	29	30	31

Figura 9 – Calendário considerado na validação.

Os seguintes símbolos são utilizados para identificar os diferentes tipos de obra:

EM = manutenção emergencial.

PT = participação de terceiros.

MC60 = melhoria de circuito com prazo de 60 dias.

MC180 = melhoria de circuito com prazo de 180 dias.

A = alimentador.

MP = manutenção preventiva.

Dispõe-se da seguinte capacidade de produção:

$Y = 3$  equipes.

$Cdia = 8,8$  horas/equipe (= 8:48 horas/equipe).

$fHE = 2$  horas

A Tabela 4 apresenta o número de dias úteis e capacidade disponível em cada período  $p$ , sendo que  $p = 1, 2$  e  $3$  representam, respectivamente, Janeiro, Fevereiro e Março

Tabela 4 – Capacidade disponível em cada período  $p$  [\* onde  $C_p$  é calculado conforme equação (76) e sua unidade é horas].

$p$	1	2	3
$du_p$	22	18	22
$C_p^*$	580,8	475,2	580,8

Com os dados já apresentados, pode-se gerar as informações contidas na Tabela 5, onde  $C_{sp}$  e  $C_{yp}$  são calculados, respectivamente, pelas equações (80) e (81). Na Tabela 5, a semana 5 pertence tanto ao período 1 como ao 2, com 3 dias úteis no período 1 e 2 no período 2. Assim, a capacidade disponível de 44 horas para cada uma das 3 equipes na semana 5, representa 79,2 horas disponíveis para o período 1 e 52,8 para o período 2.

Tabela 5 – Capacidades disponíveis.

período $p$	semana $s$	$du_{sp}$	$C_{sp}$ (horas)	$C_{ys}$ (horas)
1	1	4	105,6	35,2
	2	5	132	44
	3	5	132	44
	4	5	132	44
	5	3	79,2	44
2	6	2	52,8	44
	7	5	132	44
	8	5	132	44
	9	1	26,4	8,8

O grau de importância das obras  $g$  é determinado conforme critérios apresentados na Tabela 6, onde o maior grau de importância é atribuído a clientes especiais e o menor grau de importância, a obras de Melhoria Preventiva (MP).

Tabela 6 – Grau de importância das obras.

<b><i>g</i></b>	
1	clientes especiais
2	prazo legal
3	alimentadores
4	MP

A Tabela 7, Tabela 8 e Tabela 9 apresentam, respectivamente, os dados referentes às obras em estado estimado, previsto e programado.

Tabela 7 – Dados referentes a obras em estado estimado.

<b><math>RC_{tp}</math></b> (horas)	<b><i>p</i></b>		
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
$t = EM$	90	82	58
$t = PT$	63	50	60
$t = MC60$	160	154	170

Tabela 8 - Dados referentes a obras em estado previsto.

<b><i>i</i></b>	<b><math>dl_i</math></b>	<b><math>tp_i = Cd_i</math></b> (horas)
MC1806	21/3/02	80
MC1807	24/3/02	50
MP5	14/3/02	40
MP6	18/3/02	15

Tabela 9 - Dados referentes a obras em estado programado.

<i>i</i>	<i>dl<sub>i</sub></i>	<i>g<sub>i</sub></i>	<i>r</i>	<i>f</i>	<i>E<sub>fi</sub>*</i> (nº de dias)	<i>Yd<sub>fi</sub></i> (equipes)	<i>td<sub>fi</sub></i> (horas)	<i>tt<sub>i</sub></i> (horas/equipe)	<i>dm<sub>fi</sub></i>	<i>tu</i>	<i>dcm</i>	<i>Cd<sub>fi</sub>*</i> (horas)	<i>Cd<sub>i</sub>*</i> (horas)
PT1	14/1	2	1	1	1	1	5	1	-	0	1/1	7	17
				2	1	3	4	1	10/1	1	1/1	10	
PT2	20/1	1	4	1	2	1	10	1,5	-	0	1/1	16	38
				2	1	3	8	1,5	6/1	2	1/1	17	
				3	1	1	2	1,5	-	0	1/1	5	
PT3	5/2	2	2	1	2	1	6	2,5	-	0	15/1	16	29
				2	1	2	3	2,5	-	0	15/1	13	
MC601	7/1	2	1	1	1	1	7	1,25	-	0	1/1	9,5	23
				2	1	3	6	1,25	4/1	2	1/1	13,5	
MC602	25/1	2	1	1	2	1	14	0,75	-	0	8/1	17	44
				2	1	3	10	0,75	12/1	1	8/1	14,5	
				3	1	1	3	0,75	-	0	8/1	4,5	
				4	1	2	5	0,75	18/1	1	8/1	8	
MC603	4/2	2	3	1	2	1	10,5	1	-	0	8/1	14,5	63,5
				2	1	3	9	1	-	0	8/1	15	
				3	1	3	8	1	-	0	8/1	14	
				4	1	1	5	1	-	0	8/1	7	
				5	1	3	7	1	-	0	8/1	13	
MC604	18/2	2	2	1	2	1	9	2	-	0	22/1	17	30
				2	1	2	5	2	-	0	22/1	13	
MC605	26/2	2	4	1	3	1	20	1,25	-	0	5/2	27,5	77,5
				2	1	3	8	1,25	-	0	5/2	15,5	
				3	1	1	6,5	1,25	-	0	5/2	9	
				4	1	2	5	1,25	-	0	5/2	10	
				5	1	1	4,5	1,25	-	0	5/2	7	
				6	1	2	3,5	1,25	-	0	5/2	8,5	

MC1801	12/1	2	3	1	1	1	6,5	1,25	-	0	1/1	9	22
				2	1	3	5,5	1,25	3/1	1	1/1	13	
MC1802	28/1	2	1	1	3	1	17	1	-	0	1/1	23	100,5
				2	1	3	13	1	11/1	1	1/1	19	
				3	1	3	10	1	17/1	2	1/1	16	
				4	2	1	9	1	-	0	1/1	13	
				5	1	3	8,5	1	24/1	2	1/1	14,5	
				6	1	1	3	1	-	0	1/1	5	
				7	1	3	4	1	26/1	1	1/1	10	
MC1803	9/2	2	1	1	3	1	18	1,25	-	0	15/1	25,5	65,5
				2	1	3	15	1,25	-	0	15/1	22,5	
				3	1	3	10	1,25	-	0	15/1	17,5	
MC1804	21/2	2	3	1	1	1	7	0,75	-	0	5/2	8,5	22
				2	1	3	9	0,75	-	0	5/2	13,5	
MC1805	8/3	2	1	1	3	1	18,5	0,5	-	0	5/2	21,5	45,5
				2	1	3	9	0,5	-	0	5/2	12	
				3	1	3	9	0,5	-	0	5/2	12	
A1	25/2	3	2	1	3	2	29	1,5	-	0	22/1	47	281
				2	1	2	15	1,5	-	0	22/1	21	
				3	1	2	10	1,5	-	0	22/1	16	
				4	2	2	17	1,5	-	0	22/1	29	
				5	1	2	7	1,5	-	0	22/1	13	
				6	2	3	35	1,5	-	0	22/1	53	
				7	1	3	12	1,5	-	0	22/1	21	
				8	1	2	15	1,5	-	0	22/1	21	
				9	1	3	10	1,5	-	0	22/1	19	
				10	1	2	14	1,5	-	0	22/1	20	
				11	1	3	12	1,5	-	0	22/1	21	
MP1	10/1	4	1	1	1	2	7	1	8/1	2	1/1	11	11
MP2	19/1	4	3	1	3	1	16,5	1,25	-	0	1/1	24	59,5
				2	1	3	11	1,25	16/1	2	1/1	18,5	
				3	1	3	9,5	1,25	19/1	1	1/1	17	
MP3	15/2	4	1	1	2	1	16	0,75	-	0	22/1	19	73
				2	1	3	14	0,75	-	0	22/1	18,5	
				3	2	1	14	0,75	-	0	22/1	17	
				4	1	3	14	0,75	-	0	22/1	18,5	
MP4	4/3	4	4	1	2	1	8	2	-	0	12/2	16	38
				2	1	3	10	2	-	0	12/2	22	

\* onde  $Cd_{fi}$  e  $E_{fi}$  são calculados respectivamente pelas equações (77) e (78), e  $Cd_i$  é a soma das capacidades demandadas pelas fases ( $Cd_{fi}$ ) de uma mesma obra  $i$ .

Com os dados apresentados, pode-se definir  $Cd_p$  (em horas):

- Para  $t = EM$  não há nenhuma ocorrência de obras emergências nos períodos considerados, logo  $Cd_{tp}$  para obras emergenciais é igual a zero em todos períodos do horizonte de planejamento.

- Para  $t = PT$  têm-se as obras PT1 e PT2 no período 1, com capacidades demandadas de 17 e 38 horas respectivamente (somando 55 horas), e PT3 no período 2, com capacidade demandada de 29 horas.

- Para  $t = MC60$  têm-se as obras MC601 e MC602 no período 1, com capacidades demandadas de 23 e 44 horas respectivamente (somando 67 horas), e MC603, MC604 e MC605 no período 2, com capacidade demandada de 63,5; 30 e 77,5 horas respectivamente (somando 171 horas).

- Para os demais tipos de obras, não é necessário definir  $Cd_{tp}$ , pois eles não possuem reserva de capacidade, e esta variável é utilizada para atualização destas reservas. A Tabela 10 apresenta os valores de  $Cd_{tp}$  (em hora).

Tabela 10 – Valores de  $Cd_{tp}$  (em horas).

$Cd_{tp}$	$p$		
	1	2	3
$t = EM$	0	0	0
$t = PT$	55	29	0
$t = MC60$	67	171	0

A matriz de proximidade entre as regiões em que as obras estão sendo executadas é apresentada na

Tabela 11, onde os índices  $j$  e  $n$  representam as regiões existentes. O valor zero representa a mesma região, um representa regiões próximas e dois regiões distantes.

$$MR(j,n) =$$

		<i>n</i>			
		1	2	3	4
<i>j</i>	1	0	2	1	1
	2	2	0	1	2
	3	1	1	0	2
	4	1	2	2	0

Tabela 11 – Matriz de compatibilidade entre regiões.

### 4.3 PLANEJAMENTO DAS OBRAS

O planejamento inicia com a atualização das reservas de capacidade para cada tipo de obra  $t$  que possui reserva de capacidade. Seguindo os passos apresentados na seção 3.2 para atualização de reserva de capacidade, tem-se:

Para  $t = EM$ :

**Passo 1:**  $p = 1$  (primeiro período).

**Passo 2:** como o tipo de obra em questão é a emergencial, passa-se para o passo 4.

**Passo 4:**  $90 - 0 \geq 0$ , então  $RC_{EM1} = 90 - 0 = 90$

**Passo 5:**  $p = 1 + 1 = 2$ . Com o período  $p = 2$  agora definido, retorna-se ao passo 2 e assim segue-se com o mesmo procedimento para todos períodos do planejamento.

Executando o mesmo procedimento para  $t = PT$  e  $t = MC60$ , têm-se as reservas de capacidade atualizadas conforme apresentado na Tabela 12.

Tabela 12 – Reserva de capacidade atualizadas (em horas).

$RC_{tp}$	$p$		
	1	2	3
$t = EM$	90	82	58
$t = PT$	0	21	60
$t = MC60$	0	0	170

Atualizadas as reservas de capacidade, pode-se executar os passos referentes ao planejamento propriamente dito. Os passos 1 a 3 do planejamento, apresentados na seção 3.2, executam a alocação das reservas de capacidade atualizadas em seus respectivos períodos. Assim, têm-se:

$$CL_1 = 580,8 - 90 - 0 - 0 = 490,8 \text{ horas}$$

$$CL_2 = 475,2 - 82 - 21 - 0 = 372,2 \text{ horas}$$

$$CL_3 = 580,8 - 58 - 60 - 170 = 292,8 \text{ horas}$$

O passo 4 do planejamento consiste em montar uma lista de todas as obras previstas e programadas em ordem crescente de data limite para execução ( $dl_i$ ), conforme apresentado no Anexo A 2.1.

Nos passos 5 a 20, alocam-se as obras programadas que possuem fases com data fixa de execução. Para tal, seleciona-se a primeira obra da lista e verifica-se se ela possui data fixa. A primeira obra é a MC601 e possui data fixa para execução na fase 2. A data fixa corresponde ao dia 04/01, que pertence ao período 1. Logo, aloca-se as fases 1 e 2 no período 1 e atualiza-se a capacidade líquida disponível do período 1. Como não existem mais fases nesta obra, ela é retirada da lista sendo selecionada a próxima obra. Se a próxima obra possuir fase com data fixa executa-se o mesmo procedimento; caso contrário, seleciona-se a próxima obra. Este procedimento é executado até chegar-se ao final da lista. O resultado desses passos e a lista atualizada de obras são apresentados nos anexos A 2.2 e A 2.3, respectivamente.

A alocação das demais obras nos períodos do planejamento é realizada com a execução dos passos 21 a 30. Nestes passos, as obras são alocadas nos períodos conforme ordem estabelecida na lista apresentada no anexo A 2.3, e a capacidade disponível nos períodos vai sendo atualizada a cada alocação. O resultado final do planejamento pode ser visualizado na Tabela 13. Na Tabela 13, as obras marcadas em cinza já haviam sido alocadas nos passos anteriores. Pode-se observar que, ao final do período 1, como não havia capacidade líquida disponível para alocação de toda a obra MP3, alocou-se parte no período 1 e parte no período 2. No período 2 as obras A1 e MC605 ultrapassaram a capacidade líquida disponível do período, mas foram alocadas

da mesma forma, devido aos prazos de execução. No período 3 houve sobra de capacidade líquida disponível pois não havia mais obras para alocação.

Na Figura 10, pode-se observar a relação entre a capacidade disponível e demandada em cada período através de representação gráfica. Com estas informações, pode-se encaminhar ações para evitar problemas de falta de capacidade ou ociosidade nas equipes que executam as obras. Estas ações podem ser: (i) aumentar capacidade em alguns períodos através de terceirização, hora extra, contratação, etc., (ii) renegociar prazos das obras, ou (iii) planejar férias ou demissões em períodos de baixa demanda.

Tabela 13 – Resultado final do planejamento.

período $p$	$i$	$dl_i$	$Cd_i$	$CL_p$
<b>1</b>	MC601	7/1	23	490,8
	MP1	10/1	11	
	MC1801	12/1	22	
	PT1	14/1	17	
	MP2	19/1	59,5	
	PT2	20/1	38	
	MC602	25/1	44	
	MC1802	28/1	100,5	175,8
	MC603	4/2	63,5	112,3
	PT3	5/2	29	83,3
	MC1803	9/2	65,5	17,8
	MP3	15/2	17,8	<b>0</b>
<b>2</b>	MP3	15/2	55,2	317
	MC604	18/2	30	287
	MC1804	21/2	22	265
	A1	25/2	281	-16
	MC605	26/2	77,5	<b>-93,5</b>
<b>3</b>	MP4	4/3	38	254,8
	MC1805	8/3	45,5	209,3
	MP5	14/3	40	169,3
	MP6	18/3	15	154,3
	MC1806	21/3	80	74,3
	MC1807	24/3	50	<b>24,3</b>

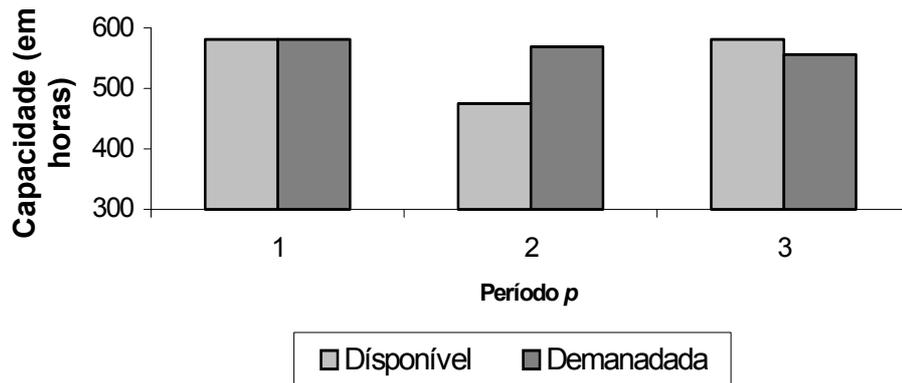


Figura 10 – Gráfico apresentando relação entre capacidade demandada x disponível.

#### 4.4 PROGRAMAÇÃO DAS OBRAS

A programação das obras inicia com sua priorização, que consiste em colocar as obras em ordem de prioridade conforme procedimento apresentado na seção 3.3.1. Inicialmente, selecionam-se todas as obras alocadas no primeiro período do planejamento que possuem  $g = 1$ , em ordem crescente de data limite de entrega, alocando-as, nesta ordem, na lista de prioridade. Em seguida, selecionam-se todas as obras do primeiro período com  $g = 2$ , também em ordem crescente de data limite de entrega, alocando-as na lista de prioridade após a última obra alocada. Repete-se o procedimento até que se tenham alocadas todas as obras do primeiro período, quando se passa, então, para o segundo período. Com todas as obras do horizonte de programação alocadas na lista, monta-se a matriz  $MF(m,k)$ , que contém os vetores  $VF_{ij}^t(k)$  com informações de cada fase das obras, em ordem de prioridade, e com o índice de prioridade definido conforme a ordem da lista gerada. A matriz  $MF(m,k)$  resultante para o presente exemplo é apresentada no anexo A 2.4.

Em seguida executa-se a divisão da capacidade demandada pelas obras entre as equipes e divisão das fases em etapas, conforme procedimento apresentado na seção 3.3.2. Nos passos 1 a 12 daquela seção define-se a capacidade demandada em cada dia de execução da fase, para cada equipe executante, ou seja, a capacidade demandada por cada *parte*. Selecionando, por exemplo, a primeira fase da matriz  $MF(m,k)$ , verifica-se que ela é executada por uma equipe ( $Yd = 1$ ) e necessita de dois dias para execução ( $E = 2$ ). Assim, em um dos dias uma equipe ficará 8,8 horas (horas úteis do dia) executando a obra. Como o tempo de transporte é 1,5 hora, apenas 5,8 horas das 10 horas necessárias

para a execução das atividades da obra serão efetuadas, já que das 8,8 horas do dia, 3 horas serão gastas em transporte (ida e volta). No segundo dia, serão necessárias 4,2 horas para execução das atividades faltantes, além das 3 horas de transporte; ou seja, serão necessárias 7,2 horas no segundo dia. Nos passos 13 a 22, define-se a data mais cedo para execução de cada parte da obra comparando a data mais cedo de materiais de sua fase, a data mais cedo da parte anterior da mesma obra e, se houver, a data fixa da fase ao qual ela pertence. A matriz  $MP(z, x)$  resultante da execução do procedimento da seção 3.3.2 é apresentado no anexo **A 2.5**.

O próximo passo consiste em definir as equipes executantes de cada obra. Para tanto, divide-se a capacidade demandada das obras programadas de cada período do planejamento em grupos, proporcionalmente à capacidade disponível em cada semana, conforme procedimento nos passos 1 a 5 da seção 3.3.3. O resultado é apresentado no anexo **A 2.6**. Em seguida, as fases são alocadas em cada grupo de semana conforme capacidade disponível (vide passos 6 a 21 da seção 3.3.3). Alocam-se, primeiramente, as fases com datas fixas e as fases anteriores do mesmo serviço nas respectivas semanas ao qual a data fixa pertence e, após, as demais fases. O resultado destes passos é a geração das matrizes  $MP_s(h, x)$  que podem ser visualizadas no anexo **A 2.7**. Seguindo os passos 22 a 26 da seção 3.3.3, dividem-se as obras de cada semana conforme a região em que elas são executadas, gerando-se as matrizes  $MP_{rs}(v, x)$  apresentadas no anexo **A 2.8**.

Os demais passos da seção 3.3.3 permitem a definição das equipes de cada obra efetivamente. Nestes passos, para cada semana  $s$ , verifica-se inicialmente se existe alguma obra com equipe já definida. Neste caso, na primeira semana não existe nenhuma obra com equipe definida, pois se considerou que nenhuma obra teve sua execução iniciada ainda, e que o programador não definiu uma equipe obrigatória para nenhuma obra. Em seguida, seleciona-se a matriz  $MP_{rs}(v, x)$  da semana em questão que possui a maior capacidade demandada. No exemplo, para a semana 1, trata-se da matriz  $MP_{41}(v, x)$ . Para a alocação das obras da matriz selecionada em alguma equipe, procura-se por uma equipe onde já se tenham alocado obras desta mesma região. No caso de primeira semana, como não existem equipes com obras alocadas, seleciona-se a primeira equipe (equipe 1) e aloca-se todas as partes da obra PT2 executadas pela categoria de equipe principal (ou seja, com  $yd = 1$ ), visto que existe capacidade

disponível na equipe selecionada e a obra PT2 é a única existente na matriz  $MP_{41}(v,x)$ . A equipe 1 é alocada no vetor  $VE_{PT2}(q)$  como equipe principal (ou seja, em  $q = 1$ ) para que, quando ocorrer a alocação das demais partes de PT2, executadas por outra categoria de equipe que não a principal, não selecione-se novamente a equipe 1. Segue-se este procedimento até que todas as obras alocadas na semana 1 tenham suas equipes executantes definidas; então, repete-se o procedimento para a semana 2. Na semana 2, a obra PT2 já possui equipes executantes definidas e, portanto, a parte de PT2 na semana 2 é a primeira a ser alocada na respectiva equipe. Procedendo com esses passos para todas as semanas, têm-se as matrizes  $MP_{ys}(l,x)$  como resultado (ver Anexo A 2.9).

Para a alocação das reservas de obras emergenciais nas equipes, divide-se a reserva de capacidade mensal para obras emergenciais proporcionalmente à capacidade disponível em cada semana, para cada equipe. Este procedimento pode ser visualizado na Tabela 14, gerada a partir da execução dos passos 1 a 4 da seção 3.3.4. A reserva de capacidade definida para cada equipe, em cada semana ( $RCe_s$ ), é alocada em cada equipe no último dia útil da semana correspondente.

Tabela 14 – Divisão da reserva de capacidade mensal para obras emergenciais em semanas.

período p	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
semana s	1	2	3	4	5		6	7	8	9
$C_{sp}$	105,6	132	132	132	79,2	52,8	132	132	132	26,4
$C_p$	580,8	580,8	580,8	580,8	580,8	475,2	475,2	475,2	475,2	475,2
$Y$	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
$RC_{tp}$	90	90	90	90	90	82	82	82	82	82
$RCe_s$	5,5	6,8	6,8	6,8	7,1		7,6	7,6	7,6	1,5

Por fim, define-se a data de execução de cada parte das obras, conforme procedimento apresentado na seção 3.3.5. Inicia-se alocando todas as partes que possuem data fixa para alocação. Em seguida, alocam-se todas as partes precedentes a estas com datas fixas. Procura-se alocar as partes precedentes nos dias imediatamente anteriores que possuam capacidade, respeitando, entretanto, a data mais cedo para execução. Em seguida, são alocadas as demais partes, conforme ordem estabelecida nas matrizes  $MP_{ys}(l,x)$ , respeitando a data em que as partes precedentes foram alocadas e a capacidade disponível em todas as equipes que executam a obra. O resultado da

alocação das obras nas equipes 1, 2 e 3 é apresentado na Tabela 15, Tabela 16 e Tabela 17, respectivamente, que representam o resultado final da programação, ou seja, o cronograma de obras para cada equipe.

#### **4.5 COMENTÁRIOS**

No planejamento, algumas obras alocadas no primeiro mês possuem data limite de execução no segundo mês, mas foram antecipadas visto que havia capacidade disponível (no primeiro mês) e possibilidade de antecipação destas obras. Mesmo com esta antecipação de obras, o segundo mês permaneceu com um pico de demanda, onde a capacidade demandada ultrapassa a disponível. A antecipação permitiu, entretanto, amenizar a flutuação da demanda entre esses meses, pois, sem ela, o primeiro mês permaneceria com capacidade ociosa, enquanto o segundo teria uma maior carga de capacidade demandada ultrapassando a disponível. A visualização do pico de demanda no segundo mês permite que ações sejam tomadas, tais como renegociação das datas limites de execução, aumento de horas extras, terceirização, etc. No terceiro mês verifica-se que existe capacidade disponível não utilizada, pois não existiam mais obras para alocação. Se as obras com data limite de execução no quarto mês fossem conhecidas, teriam sua alocação antecipada para o terceiro mês, de forma a preencher a capacidade disponível. Cabe lembrar, entretanto, que se houver excesso de capacidade ociosa no último mês de planejamento, ou então não existir obras alocadas no último mês, é um indicativo que o número de equipes disponíveis para execução das obras está superestimada.

Tabela 15 - Cronograma de obras da equipe 1.

<b>Cd</b>	<b>CL</b>	<b>d</b>	<b>i</b>	<b>r</b>	<b>ip</b>	<b>f</b>	<b>e</b>	<b>yd</b>	<b>Cd</b>	<b>dm</b>	<b>tu</b>	<b>dcm</b>	<b>al</b>	<b>dc</b>
13,0	-4,2	<b>02-Jan</b>	PT2	4	1	1	2	1	7,2	0/0	0	1/1	0	1/1
			PT2	4	1	1	1	1	8,8	0/0	0	1/1	0	1/1
4,3	4,5	<b>03-Jan</b>	MC1801	3	3	2	1	3	4,33	3/1	1	1/1	0	3/1
4,5	4,3	<b>04-Jan</b>	MC601	1	2	2	1	3	4,50	4/1	2	1/1	0	4/1
5,5	3,3	<b>05-Jan</b>	EM	0	0	0	0	0	5,5	0/0	0	0/0	0	0/0
5,7	-5,7	<b>06-Jan</b>	PT2	4	1	2	1	1	5,67	6/1	2	1/1	0	6/1
5,0	3,8	<b>08-Jan</b>	PT2	4	1	3	1	1	5,00	0/0	0	1/1	1	7/1
0,0	8,8	<b>09-Jan</b>												
3,3	5,5	<b>10-Jan</b>	PT1	1	4	2	1	3	3,33	10/1	1	1/1	0	10/1
6,3	2,5	<b>11-Jan</b>	MC1802	1	6	2	1	3	6,33	11/1	1	1/1	0	11/1
11,7	-2,9	<b>12-Jan</b>	EM	0	0	0	0	0	6,8	0/0	0	0/0	0	0/0
			MC602	1	5	2	1	3	4,83	12/1	1	8/1	0	12/1
8,8	0,0	<b>15-Jan</b>	MC1803	1	9	1	1	1	8,8	0/0	0	15/1	1	15/1
6,2	2,6	<b>16-Jan</b>	MP2	3	11	2	1	3	6,17	16/1	2	1/1	0	16/1
5,3	3,5	<b>17-Jan</b>	MC1802	1	6	3	1	3	5,33	17/1	2	1/1	0	17/1
8,8	0,0	<b>18-Jan</b>	MC1803	1	9	1	2	1	8,8	0/0	0	15/1	1	15/1
12,5	-3,7	<b>19-Jan</b>	EM	0	0	0	0	0	6,8	0/0	0	0/0	0	0/0
			MP2	3	11	3	1	3	5,67	19/1	1	1/1	0	19/1
7,90	0,9	<b>22-Jan</b>	MC1803	1	9	1	3	1	7,90	0/0	0	15/1	1	15/1
6,50	2,3	<b>23-Jan</b>	PT3	2	8	2	1	2	6,50	0/0	0	15/1	1	15/1
4,8	4,0	<b>24-Jan</b>	MC1802	1	6	5	1	3	4,83	24/1	2	1/1	0	24/1
5,00	3,8	<b>25-Jan</b>	MC603	3	7	2	1	3	5,00	0/0	0	8/1	1	8/1
10,2	-1,4	<b>26-Jan</b>	EM	0	0	0	0	0	6,8	0/0	0	0/0	0	0/0
			MC1802	1	6	7	1	3	3,33	26/1	1	1/1	0	26/1
4,7	4,1	<b>29-Jan</b>	MC603	3	7	3	1	3	4,67	0/0	0	8/1	1	8/1
4,3	4,5	<b>30-Jan</b>	MC603	3	7	5	1	3	4,33	0/0	0	8/1	1	8/1
10,83	-2,0	<b>31-Jan</b>	MC1803	1	9	2	1	1	7,50	0/0	0	15/1	1	15/1
			MC1803	1	9	3	1	1	5,83	0/0	0	15/1	1	15/1
8,8	0,0	<b>01-Feb</b>	MP3	1	12	1	1	1	8,8	0/0	0	22/1	1	22/1
7,1	1,7	<b>02-Feb</b>	EM	0	0	0	0	0	7,1	0/0	0	0/0	0	0/0
10,20	-1,4	<b>05-Feb</b>	MP3	1	12	1	2	1	10,20	0/0	0	22/1	1	22/1
6,17	2,6	<b>06-Feb</b>	MP3	1	12	2	1	1	6,17	0/0	0	22/1	1	22/1
8,8	0,0	<b>07-Feb</b>	MP3	1	12	3	1	1	8,8	0/0	0	22/1	1	22/1
8,20	0,6	<b>08-Feb</b>	MP3	1	12	3	2	1	8,20	0/0	0	22/1	1	22/1
7,6	1,2	<b>09-Feb</b>	EM	0	0	0	0	0	7,6	0/0	0	0/0	0	0/0
6,2	2,6	<b>12-Feb</b>	MP3	1	12	4	1	1	6,17	0/0	0	22/1	1	22/1
8,8	0,0	<b>13-Feb</b>	MC605	4	15	1	1	1	8,8	0/0	0	5/2	1	5/2
8,8	0,0	<b>14-Feb</b>	MC605	4	15	1	2	1	8,8	0/0	0	5/2	1	5/2
9,9	-1,1	<b>15-Feb</b>	MC605	4	15	1	3	1	9,90	0/0	0	5/2	1	5/2
7,6	1,2	<b>16-Feb</b>	EM	0	0	0	0	0	7,6	0/0	0	0/0	0	0/0
9,7	-0,9	<b>19-Feb</b>	MC605	4	15	2	1	1	5,17	0/0	0	5/2	1	5/2
			MC1804	3	14	2	1	3	4,5	0/0	0	5/2	1	5/2
9,0	-0,2	<b>20-Feb</b>	MC605	4	15	3	1	1	9,00	0/0	0	5/2	1	5/2
9,5	-0,7	<b>21-Feb</b>	MC605	4	15	4	1	1	5,00	0/0	0	5/2	1	5/2
			MC605	4	15	5	1	1	7,00	0/0	0	5/2	1	5/2
4,3	4,6	<b>22-Feb</b>	MC605	4	15	6	1	1	4,25	0/0	0	5/2	1	5/2
7,6	1,2	<b>23-Feb</b>	EM	0	0	0	0	0	7,6	0/0	0	0/0	0	0/0
8,8	0,0	<b>28-Feb</b>	A1	2	16	6	1	3	8,80	0/0	0	22/1	0	22/1

Tabela 16 – Cronograma de obras da equipe 2.

<i>Cd</i>	<i>CL</i>	<i>d</i>	<i>i</i>	<i>r</i>	<i>ip</i>	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>yd</i>	<i>Cd</i>	<i>dm</i>	<i>tu</i>	<i>dcm</i>	<i>al</i>	<i>dc</i>
9,50	-0,7	<b>02-Jan</b>	MC601	1	2	1	1	1	9,50	0/0	0	1/1	0	1/1
4,3	4,5	<b>03-Jan</b>	MC1801	3	3	2	1	2	4,33	3/1	1	1/1	0	3/1
4,5	4,3	<b>04-Jan</b>	MC601	1	2	2	1	1	4,50	4/1	2	1/1	0	4/1
5,5	3,3	<b>05-Jan</b>	EM	0	0	0	0	0	5,5	0/0	0	0/0	0	0/0
5,7	-5,7	<b>06-Jan</b>	PT2	4	1	2	1	2	5,67	6/1	2	1/1	0	6/1
21,0	-12,2	<b>08-Jan</b>	MP1	1	10	1	1	1	5,50	8/1	2	1/1	0	8/1
			MC602	1	5	1	2	1	8,20	0/0	0	8/1	0	8/1
			MC602	1	5	1	1	1	8,8	0/0	0	8/1	0	8/1
7,0	1,8	<b>09-Jan</b>	PT1	1	4	1	1	1	7,00	0/0	0	1/1	0	1/1
3,3	5,5	<b>10-Jan</b>	PT1	1	4	2	1	1	3,33	10/1	1	1/1	0	10/1
6,3	2,5	<b>11-Jan</b>	MC1802	1	6	2	1	2	6,33	11/1	1	1/1	0	11/1
11,7	-2,9	<b>12-Jan</b>	EM	0	0	0	0	0	6,8	0/0	0	0/0	0	0/0
			MC602	1	5	2	1	1	4,83	12/1	1	8/1	0	12/1
8,8	0,0	<b>15-Jan</b>	PT3	2	8	1	1	1	8,8	0/0	0	15/1	1	15/1
6,2	2,6	<b>16-Jan</b>	MP2	3	11	2	1	2	6,17	16/1	2	1/1	0	16/1
9,8	-1,0	<b>17-Jan</b>	MC1802	1	6	3	1	2	5,33	17/1	2	1/1	0	17/1
			MC602	1	5	3	1	1	4,50	0/0	0	8/1	0	12/1
4,0	4,8	<b>18-Jan</b>	MC602	1	5	4	1	1	4,00	18/1	1	8/1	0	18/1
12,5	-3,7	<b>19-Jan</b>	EM	0	0	0	0	0	6,8	0/0	0	0/0	0	0/0
			MP2	3	11	3	1	2	5,67	19/1	1	1/1	0	19/1
7,20	1,6	<b>22-Jan</b>	PT3	2	8	1	2	1	7,20	0/0	0	15/1	1	15/1
6,50	2,3	<b>23-Jan</b>	PT3	2	8	2	1	1	6,50	0/0	0	15/1	1	15/1
4,8	4,0	<b>24-Jan</b>	MC1802	1	6	5	1	2	4,83	24/1	2	1/1	0	24/1
5,00	3,8	<b>25-Jan</b>	MC603	3	7	2	1	2	5,00	0/0	0	8/1	1	8/1
10,2	-1,4	<b>26-Jan</b>	EM	0	0	0	0	0	6,8	0/0	0	0/0	0	0/0
			MC1802	1	6	7	1	2	3,33	26/1	1	1/1	0	26/1
4,7	4,1	<b>29-Jan</b>	MC603	3	7	3	1	2	4,67	0/0	0	8/1	1	8/1
10,2	-1,4	<b>30-Jan</b>	MC603	3	7	5	1	2	4,33	0/0	0	8/1	1	8/1
			A1	2	16	1	3	1	5,90	0/0	0	22/1	0	22/1
10,83	-2,0	<b>31-Jan</b>	MC1803	1	9	2	1	3	7,50	0/0	0	15/1	1	15/1
			MC1803	1	9	3	1	3	5,83	0/0	0	15/1	1	15/1
8,8	0,0	<b>01-Feb</b>	MC604	2	13	1	1	1	8,8	0/0	0	22/1	1	22/1
7,1	1,7	<b>02-Feb</b>	EM	0	0	0	0	0	7,1	0/0	0	0/0	0	0/0
10,70	-1,9	<b>05-Feb</b>	MC604	2	13	1	2	1	8,20	0/0	0	22/1	1	22/1
			MC604	2	13	2	1	1	6,50	0/0	0	22/1	1	22/1
6,17	2,6	<b>06-Feb</b>	MP3	1	12	2	1	3	6,17	0/0	0	22/1	1	22/1
8,8	0,0	<b>07-Feb</b>	A1	2	16	1	1	1	8,8	0/0	0	22/1	0	22/1
8,8	0,0	<b>08-Feb</b>	A1	2	16	1	2	1	8,8	0/0	0	22/1	0	22/1
7,6	1,2	<b>09-Feb</b>	EM	0	0	0	0	0	7,6	0/0	0	0/0	0	0/0
6,2	2,6	<b>12-Feb</b>	MP3	1	12	4	1	3	6,17	0/0	0	22/1	1	22/1
		<b>13-Feb</b>												
10,5	-1,7	<b>14-Feb</b>	A1	2	16	2	1	1	10,50	0/0	0	22/1	0	22/1
8,0	0,8	<b>15-Feb</b>	A1	2	16	3	1	1	8,00	0/0	0	22/1	0	22/1
7,6	1,2	<b>16-Feb</b>	EM	0	0	0	0	0	7,6	0/0	0	0/0	0	0/0
9,7	-0,9	<b>19-Feb</b>	MC605	4	15	2	1	2	5,17	0/0	0	5/2	1	5/2
			MC1804	3	14	2	1	2	4,5	0/0	0	5/2	1	5/2
8,8	0,0	<b>20-Feb</b>	A1	2	16	4	1	1	8,80	0/0	0	22/1	0	22/1
10,7	-1,9	<b>21-Feb</b>	MC605	4	15	4	1	2	5,00	0/0	0	5/2	1	5/2
			A1	2	16	4	2	1	5,7	0/0	0	22/1	0	22/1
10,8	-2,0	<b>22-Feb</b>	MC605	4	15	6	1	2	4,25	0/0	0	5/2	1	5/2
			A1	2	16	5	1	1	6,50	0/0	0	22/1	0	22/1
7,6	1,2	<b>23-Feb</b>	EM	0	0	0	0	0	7,6	0/0	0	0/0	0	0/0
8,8	0,0	<b>28-Feb</b>	A1	2	16	6	1	1	8,80	0/0	0	22/1	0	22/1

Tabela 17 - Cronograma de obras da equipe 3.

<i>Cd</i>	<i>CL</i>	<i>d</i>	<i>i</i>	<i>r</i>	<i>ip</i>	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>yd</i>	<i>Cd</i>	<i>dm</i>	<i>tu</i>	<i>dcm</i>	<i>al</i>	<i>dc</i>
26,6	-17,8	<b>02-Jan</b>	MC1801	3	3	1	1	1	9,00	0/0	0	1/1	0	1/1
			MC1802	1	6	1	1	1	8,8	0/0	0	1/1	0	1/1
			MP2	3	11	1	1	1	8,8	0/0	0	1/1	0	1/1
4,3	4,5	<b>03-Jan</b>	MC1801	3	3	2	1	1	4,33	3/1	1	1/1	0	3/1
4,5	4,3	<b>04-Jan</b>	MC601	1	2	2	1	2	4,50	4/1	2	1/1	0	4/1
5,5	3,3	<b>05-Jan</b>	EM	0	0	0	0	0	5,5	0/0	0	0/0	0	0/0
5,7	-5,7	<b>06-Jan</b>	PT2	4	1	2	1	3	5,67	6/1	2	1/1	0	6/1
5,50	3,3	<b>08-Jan</b>	MP1	1	10	1	1	2	5,50	8/1	2	1/1	0	8/1
8,8	0,0	<b>09-Jan</b>	MC1802	1	6	1	2	1	8,8	0/0	0	1/1	0	1/1
8,7	0,1	<b>10-Jan</b>	PT1	1	4	2	1	2	3,33	10/1	1	1/1	0	10/1
			MC1802	1	6	1	3	1	5,40	0/0	0	1/1	0	1/1
6,3	2,5	<b>11-Jan</b>	MC1802	1	6	2	1	1	6,33	11/1	1	1/1	0	11/1
11,7	-2,9	<b>12-Jan</b>	EM	0	0	0	0	0	6,8	0/0	0	0/0	0	0/0
			MC602	1	5	2	1	2	4,83	12/1	1	8/1	0	12/1
8,8	0,0	<b>15-Jan</b>	MP2	3	11	1	2	1	8,8	0/0	0	1/1	0	1/1
10,1	-1,3	<b>16-Jan</b>	MP2	3	11	2	1	1	6,17	16/1	2	1/1	0	16/1
			MP2	3	11	1	3	1	6,40	0/0	0	1/1	0	1/1
5,3	3,5	<b>17-Jan</b>	MC1802	1	6	3	1	1	5,33	17/1	2	1/1	0	17/1
9,70	-0,9	<b>18-Jan</b>	MC602	1	5	4	1	2	4,00	18/1	1	8/1	0	18/1
			MC603	3	7	1	2	1	5,70	0/0	0	8/1	1	8/1
12,5	-3,7	<b>19-Jan</b>	EM	0	0	0	0	0	6,8	0/0	0	0/0	0	0/0
			MP2	3	11	3	1	1	5,67	19/1	1	1/1	0	19/1
8,8	0,0	<b>22-Jan</b>	MC603	3	7	1	1	1	8,8	0/0	0	8/1	1	8/1
8,8	0,0	<b>23-Jan</b>	MC1802	1	6	4	1	1	8,8	0/0	0	1/1	0	18/1
7,0	1,8	<b>24-Jan</b>	MC1802	1	6	5	1	1	4,83	24/1	2	1/1	0	24/1
			MC1802	1	6	4	2	1	4,20	0/0	0	1/1	0	18/1
10,00	-1,2	<b>25-Jan</b>	MC1802	1	6	6	1	1	5,00	0/0	0	1/1	0	25/1
			MC603	3	7	2	1	1	5,00	0/0	0	8/1	1	8/1
10,2	-1,4	<b>26-Jan</b>	EM	0	0	0	0	0	6,8	0/0	0	0/0	0	0/0
			MC1802	1	6	7	1	1	3,33	26/1	1	1/1	0	26/1
9,7	-0,9	<b>29-Jan</b>	MC603	3	7	3	1	1	4,67	0/0	0	8/1	1	8/1
			MC603	3	7	4	1	1	7,00	0/0	0	8/1	1	8/1
10,2	-1,4	<b>30-Jan</b>	MC603	3	7	5	1	1	4,33	0/0	0	8/1	1	8/1
			A1	2	16	1	3	2	5,90	0/0	0	22/1	0	22/1
10,83	-2,0	<b>31-Jan</b>	MC1803	1	9	2	1	2	7,50	0/0	0	15/1	1	15/1
			MC1803	1	9	3	1	2	5,83	0/0	0	15/1	1	15/1
	8,8	<b>01-Feb</b>												
7,1	1,7	<b>02-Feb</b>	EM	0	0	0	0	0	7,1	0/0	0	0/0	0	0/0
6,50	2,3	<b>05-Feb</b>	MC604	2	13	2	1	2	6,50	0/0	0	22/1	1	22/1
6,17	2,6	<b>06-Feb</b>	MP3	1	12	2	1	2	6,17	0/0	0	22/1	1	22/1
8,8	0,0	<b>07-Feb</b>	A1	2	16	1	1	2	8,8	0/0	0	22/1	0	22/1
8,8	0,0	<b>08-Feb</b>	A1	2	16	1	2	2	8,8	0/0	0	22/1	0	22/1
7,6	1,2	<b>09-Feb</b>	EM	0	0	0	0	0	7,6	0/0	0	0/0	0	0/0
6,2	2,6	<b>12-Feb</b>	MP3	1	12	4	1	2	6,17	0/0	0	22/1	1	22/1
8,5	0,3	<b>13-Feb</b>	MC1804	3	14	1	1	1	8,50	0/0	0	5/2	1	5/2
10,5	-1,7	<b>14-Feb</b>	A1	2	16	2	1	2	10,50	0/0	0	22/1	0	22/1
8,0	0,8	<b>15-Feb</b>	A1	2	16	3	1	2	8,00	0/0	0	22/1	0	22/1
7,6	1,2	<b>16-Feb</b>	EM	0	0	0	0	0	7,6	0/0	0	0/0	0	0/0
9,7	-0,9	<b>19-Feb</b>	MC605	4	15	2	1	3	5,17	0/0	0	5/2	1	5/2
			MC1804	3	14	2	1	1	4,5	0/0	0	5/2	1	5/2
8,8	0,0	<b>20-Feb</b>	A1	2	16	4	1	2	8,80	0/0	0	22/1	0	22/1
5,7	3,1	<b>21-Feb</b>	A1	2	16	4	2	2	5,7	0/0	0	22/1	0	22/1
6,5	2,3	<b>22-Feb</b>	A1	2	16	5	1	2	6,50	0/0	0	22/1	0	22/1
7,6	1,2	<b>23-Feb</b>	EM	0	0	0	0	0	7,6	0/0	0	0/0	0	0/0
8,8	0,0	<b>28-Feb</b>	A1	2	16	6	1	2	8,80	0/0	0	22/1	0	22/1

O planejamento serve de base para programação e, portanto, pode-se verificar que as obras planejadas no primeiro mês têm sua execução programada no primeiro mês, e o mesmo ocorre no segundo mês. A falta de capacidade identificada no segundo mês de planejamento refletiu-se na programação através da não programação de algumas fases da obra A1, devido à falta de dias úteis para tal. Como o planejamento é executado com base nas datas limites de execução das obras e serve de base para programação, todas as obras tiveram suas datas de execução programadas para antes da sua data limite, com exceção da obra A1, devido à falta de capacidade já identificada no planejamento.

Na programação, não se têm as datas precisas da ocorrência das obras emergenciais, o que justifica a alocação da reserva de capacidade para estas obras no último dia útil da semana. Conforme ocorre a realimentação dos dados, a ocorrência de obras emergências vai sendo descontada da reserva de capacidade. Como a divisão da reserva de capacidade entre as semanas é proporcional à capacidade disponível de cada semana, na quinta-feira de uma semana, apenas poucas horas para este tipo de obra serão alocadas na sexta. Entretanto, como essas obras não ocorrem apenas nos últimos dias úteis da semana e sim no decorrer da semana, o cronograma diário de obras pode ficar prejudicado. Por isto, no controle da execução do cronograma, não se pode exigir uma precisão de execução diária, e sim semanal. Entretanto, o cronograma diário facilita a tomada de decisão sobre alocação de equipes no momento em que as obras emergenciais ocorrem. Isto porque o cronograma permite a visualização das fases com data fixa de execução, suas fases anteriores, as fases compartilhadas por outras equipes, datas limites para execução, regiões em que as equipes se encontram e equipe com menor carga de trabalho programada no dia.

No primeiro mês, pode-se observar que a demanda de obras concentra-se em maior número na região 1 e em menor na região 2. No segundo mês, é a região 2 que concentra a maior capacidade demandada de obras. Quando se observa a região das obras alocadas nas equipes como equipe principal, verifica-se que a equipe 1 executa todas obras da região 4 e a equipe 3, as da região 3. Por serem em maior número, as obras da região 1 são divididas entre as três equipes, mas concentram-se especialmente na equipe 2. As obras da região 2, que começam aparecer em maior proporção no segundo mês, onde a demanda de obras na região 1 decresce, são alocadas na equipe 2.

Tal alocação de obras da mesma região na mesma equipe permite uma maior coordenação das operações de serviços que são realizadas em locais distantes.

No resultado gerado pela programação, pode-se observar ainda que em alguns dias não foram alocadas obras, o que ocorreu por diversos motivos. Na equipe 1, por exemplo, isto ocorreu no dia 9-Jan, pois as datas mais cedo das obras ainda não alocadas são posteriores a esta data, não havendo demanda para este dia. Visualizando esse fato, pode-se tomar algumas decisões para aproveitar as horas úteis, tais como tentar adiantar a data mais cedo de alguma obra, compensar algum dia não-útil trabalhado devido ao desligamento de energia que teve que obrigatoriamente ocorrer naquele dia (como é o caso do dia 6-jan), ou programar treinamento para a equipe. No dia 1-Fev, a equipe 3 ficou com o dia ocioso, pois as únicas obras que não tinham sua data mais cedo posterior a esta data são alocadas na equipe 3, na categoria de equipe secundária, de forma que dependem da data disponível das demais equipes para alocação. No caso do dia 13-Fev, para a equipe 2, além do mesmo motivo da ocorrência no dia 1-fev, existe o fato da obra A1, que poderia ser alocada nesta data, ser compartilhada com a equipe 3, que por sua vez não possui capacidade disponível no dia. Nesse último caso, pode-se avaliar a possibilidade de definir apenas uma equipe para execução de alguma fase de A1. Outro fato que pode ser observado é que alguns dias necessitam hora extra, enquanto outros possuem algumas horas de ociosidade. A visualização desses eventos possibilita: (i) a programação de compensação de horários; (ii) programação de outras atividades, tais como treinamento, reuniões, organização de materiais e ferramentas; e (iii) ajustes de alguns dados de programação, tais como número de equipes que executam alguma fase da obra, datas fixas para execução, data mais cedo de materiais, etc.

Com definição das datas de execução das obras, pode-se definir a data de necessidade de materiais e efetuar a reserva de matérias. Utilizando o MRP, consegue-se verificar a disponibilidade de materiais e efetuar o planejamento de compras, permitindo uma maior coordenação do fluxo de materiais.

## **CAPÍTULO 5**

### **5 CONCLUSÕES E FUTUROS DESENVOLVIMENTOS**

A realização desta dissertação de Mestrado permitiu a formulação de algumas conclusões a respeito do método de planejamento e programação de serviços, bem como sugestões para futuros desenvolvimentos.

Esta dissertação teve como principal objetivo a apresentação de um método de planejamento e programação para operações dos bastidores de empresas prestadoras de serviço, que possibilite uma melhor coordenação das atividades executadas ao longo do processo da prestação dos serviços. Esse método considera algumas características típicas das operações de serviços, tais como o compartilhamento de recursos entre atividades de emergência e atividades programáveis, e deslocamento de recursos para atendimento dos diferentes serviços. Também são utilizados na elaboração do método conceitos de planejamento e programação da manufatura, visto que se considera a existência de um fluxo de materiais necessários para a execução das operações.

A dissertação apresentou também uma revisão dos principais métodos de planejamento e controle de operação da manufatura e de serviços. Para o planejamento e controle na manufatura, foram apresentados os métodos mais conhecidos nas diversas etapas de planejamento: longo, médio e curto prazo. No longo prazo, foram apresentados métodos de planejamento agregado da produção e verificação de capacidade produtiva do plano mestre de produção. No médio prazo, a lógica de planejamento de materiais e verificação de capacidade do MRP foi explorada. No curto prazo, foram expostos métodos de programação da produção que visam viabilizar o planejamento de médio prazo, através da consideração da seqüência de operações, disponibilidade de recursos e mensurações de desempenho do sistema de produção. Para o planejamento de serviços foram revisados os métodos de planejamento e programação

utilizados conforme duas estratégias distintas de gerenciamento da capacidade: gerenciamento da demanda e gerenciamento da capacidade. Por fim, foram apresentados métodos de gerenciamento de projetos que são utilizados tanto em operações de manufatura como de serviço.

O método proposto neste trabalho considera tanto serviços de emergência quanto serviços que possam esperar em uma fila de espera, a serem executados em diferentes locais distantes entre si. No planejamento foram utilizados principalmente conceitos de gerenciamento de demanda, mais especificamente de divisão da demanda, com a antecipação de serviços que podem ser antecipados quando existe capacidade disponível para tal. Na programação, obteve-se o cronograma diário de execução dos serviços, considerando que: *(i)* os serviços são compostos de diferentes atividades, não sendo idênticos entre si; *(ii)* os serviços possuem uma data limite para execução; *(iii)* existem critérios de importância associados aos serviços; *(iv)* os serviços podem ter várias fases que necessitam uma seqüência de execução; ou seja, uma fase de um serviço não pode ser executada enquanto sua fase anterior não estiver concluída; *(v)* fases de um mesmo serviço podem ter diferentes números de funcionários executantes; *(vi)* algumas fases podem ter data fixa para execução; *(vii)* os serviços são executados em locais diferentes distantes entre si; *(viii)* obras de emergência podem surgir durante a execução dos serviços programados; *(ix)* uma mesma equipe deve acompanhar a execução do serviço do início ao fim e, caso sejam necessárias outras equipes durante a execução, deve-se alocar sempre as mesmas que já auxiliaram na execução em outro momento. Definido o cronograma de execução, tem-se a data de necessidade de materiais, podendo-se, então, efetuar o planejamento de logística e compras.

O método proposto teve sua validação prática em uma empresa de distribuição de energia elétrica, mais especificamente no processo de execução de obras de investimento e manutenção em redes de distribuição de energia elétrica. Pode-se observar que o planejamento possibilitou a suavização da demanda e a visualização de picos de demanda. A programação possibilitou a visualização das operações a serem executadas diariamente. Tais visualizações possibilitam um maior entendimento da demanda e recursos necessários para atendê-la de forma a facilitar a tomada de decisões e obter-se uma maior coordenação entre as operações ao longo do processo de prestação de serviços.

Como sugestões para futuros desenvolvimentos têm-se:

- No método apresentado considerou-se como critério de prioridade os prazos de execução dos serviços. Não houve, entretanto, uma avaliação do resultado gerado a partir da utilização de outros critérios, tais como MTP (menor tempo de processamento), MTPR (mínimo tempo de processamento remanescente), RC (razão crítica), FRO (folga remanescente por operação). A avaliação do método utilizando diferentes critérios de prioridade torna-se, portanto, uma alternativa para futuras análises.
- Validação prática e comparação do método em outros serviços, tais como telefonia, transmissão de energia, serviços em rodovias e outros.
- Adaptação do método para serviços onde seja possível obter-se uma previsão de demanda diária para serviços emergenciais.
- Acrescentar ao método a consideração de diferentes turnos e dias de trabalho para os funcionários.
- Não foi escopo do trabalho apresentar como é realizada a definição do tempo de duração das fases. Como uma fase é composta por várias atividades, pode-se analisar a possibilidade de determinar seu tempo de duração conforme método de estimativa de tempo do PERT/ CPM.
- O método considerou a execução de serviços em diferentes locais. Métodos que consideram situações onde atividades de um mesmo serviço são executadas em diferentes locais (ou ainda, com possibilidade de atividades de diferentes serviços nos mesmos locais) também apresentam potencial para futuros desenvolvimentos.
- A interação de sistemas de geo-referenciamento aos métodos de programação que consideram atividades em diferentes locais também representa possibilidade de futuros desenvolvimentos, por possibilitar o acoplamento de lógicas avançadas de roteirização na programação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBASI, G.Y. & MUKATTASH, A.M. Crashing PERT networks using mathematical programming. *International Journal of Project Management*. Elsevier, v.19, pp. 181–188, 2001.

ALFARES, H.K.; BAILEY, J.E. & LIN, W.Y. Integrated project operations and personnel scheduling with multiple labour classes. *Production Planning & Control*. Taylor & Francis, v.10, n.6, pp. 570–578, 1999.

ARMISTEAD, C. G., CLARK, G. The “coping” capacity management strategy in services and the influence on quality performance. *International Journal of Service Industry Management*, v.5, n.2, p. 5-22, 1994.

BAKER, K. R. Workforce allocation in cyclical scheduling problems: a survey. *Operational Research Quarterly*, v.27, n.1, p. 155-167, 1976.

BOLANDER, S. A.; TAYLOR, S. F. *Scheduling technique: A comparison of logic*. [online]. URL: <http://proquest.umi.com/pqweb>. Capturado 20 de junho de 2000.

BONNEY, M. Control of manufacturing systems. *Produto & Produção*, Porto Alegre, v.4, n.1, p.1-16, fev. 2000.

BRENNAM, L.; GUPTA, S. M. Combined demand and lead time uncertainty with back-ordering in a multi-level product structure environment. *Production planning & control*, London, v.7, n.1, p.57-67, jan./feb. 1999.

BRUSCO, M. J.; JACOBS, L. W. Optimal models for meal-break and start-time flexibility in continuous tour scheduling. *Management Science*, v.46, n.12, p. 1630-1641, Dec. 2000.

BRUSCO, M. J.; JACOBS, L. W. Personnel tour scheduling when starting-time restrictions are present. *Management Science*, v.44, n.4, p. 534-547, April 1998.

BRUSCO, M. J.; JOHNS, T. R. The effect of demand characteristics on labour scheduling methods. *International Journal of Operations & Production Management*, v.15, n.1, p. 74-88, 1995.

BRUSCO, M. J.; JOHNS, T. R.; REED, J. H. Cross-utilization of a two-skilled workforce. *International Journal of Operations & Production Management*, v.18, n.6, p. 555-564, 1998.

CARVALHO, M. F.; SILVA FILHO, O. S.; FERNANDES, C. A. O. O planejamento da manufatura – práticas industriais e métodos de otimização. *Gestão & Produção*. São Carlos, v.5, n.1, p.34-59, abr.1996.

CHENG, C.H.; MAK, R.W.T.; TUMMALA, V.M.R. & FEIRING, B.R. Task scheduling by guided simulated annealing. *Production planning & control*, London, v.10, n.6, p.530-541, 1999.

CLAGUE, J. E.; REED, P. G.; BARLOW, J.; RADA, R.; CLARKE, M.; EDWARDS, R. H. T. Improving outpatient clinic efficiency using computer simulation. *International Journal of Health Care Quality Assurance*, v.10, n.5, p. 197-201, 1997.

CRANDALL, R. E. Production planning in a variable demand environment. *Production and inventory management journal*. Falls Church, v.39, n.4, p.34-41, fourth quarter 1998.

DANTZIG, G. B. A comment on Edie's 'Traffic delays at toll booths'. *Operations Research*, v.2, n.3, pp. 339-341, 1954.

ELSAYED, E. A & BOUCHER, T. O. *Analysis and control of production systems*. 2.ed. New Jersey: Prentice Hall, 1994.

EVARISTO, R. & FENEMA, P.C.V. A typology of project management: emergence and evolution of new forms. *International Journal of Project Management*. Elsevier, v.17, n.5, pp. 275–281, 1999.

FITZSIMMONS, J. A.; FITZSIMMONS, M. J. *Administração estratégica de serviços: operações, estratégia e tecnologia de informação*. 2.ed. São Paulo: Bookman, 1998.

GIANESI, I. G. N.; CORRÊA, H. L. *Administração Estratégica de Serviços*. São Paulo: Atlas, 1994.

GOLDRATT, E.M. *Corrente crítica*. São Paulo: Nobel, 1998.

GOODALE, J. C., TUNC, E. Tour scheduling with dynamic service rates. *International Journal of Service Industry Management*, v.9, n.3, p. 226-247, 1998.

GRAVES, S.C. A review of production scheduling. *Operations Research*, v.29, p.646-675, 1981.

HO, C.-J.; HO, S.-J. K. Evaluating the effectiveness of using lot-sizing rules to cope with MRP system nervousness. *Production planning & control*, London, v.10, n.2, p.150-161, mar. 1999.

HO, C.-J.; LAU, H.-S.; LI, J. Introducing variable-interval appointment scheduling rules in service systems. *International Journal of Operations & Production Management*, v.15, n.6, p. 59-68, 1995.

HOEL, K & TAYLOR, S.G. Quantifying buffers for project schedules. *Production and Inventory Management Journal*. APICS, v.40, pp. 43–47, second quarter, 1999.

- JACOBS, L. W; BECHTOLD, S. E. Microcomputer-based workforce scheduling. *International Journal of Service Industry Management*, v.4, n.1, p. 36-48, 1993.
- JOHNSON, L. A; MONTGOMERY, D. C. *Operations research in production planning, scheduling, and inventory control*. New York: John Wiley & Sons, 1974.
- JOHNSTON, R. Service operations management: return to roots. *International Journal of Operations & Production Management*, v.19, n.2, p. 104-124, 1999.
- KALIR, A.A. & SARIN, S.C. The role of advanced start and dominance rules in simulated annealing for parallel processor scheduling problems. *Production planning & control*, London, v.10, n.8, p.757-766, 1999.
- KHAMOOSHI, H. Network-based project planning and scheduling. *Industrial Management & Data Systems*. MCB, v.8, pp. 13-22, 1996.
- KRAJEWSKI, L. J.; RITZMAN, L. P. *Operation management strategy and analysis*. 5.ed. Reading (Massachusetts): Addison-Wesley, 1999.
- LOVA, A., MAROTO, C. & TORMOS, P. A multicriteria heuristic method to improve resource allocation in multiproject scheduling. *European Journal of Operational Research*. Elsevier, v.127, pp. 408-424, 2000.
- MELACHRINOUDIS, E.; OLAFSSON, M. A microcomputer cashier scheduling system for supermarket stores. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, v.25, n.1, p. 34-50, 1995.
- MESGHOUNI, K.; PESIN, P.; TRENTESAUX, D.HAMMADI, S.; TAHON, C. & BORNE, P. . Hybrid approach to decision-making for job-shop scheduling. *Production planning & control*, London, v.10, n.7, p.690-706, 1999.
- NG, I. C. L.; WIRTZ, J.; LEE, K. S. The strategic role of unused service capacity. *International Journal of Service Industry Management*, v.10, n.2, p. 211-238, 1999.
- ONWUBOLU, G.C. A flow-shop manufacturing scheduling system with interactive computer graphics. *International Journal of Operation & Production Management*, v.16, n.9, p.74-84, 1996.
- OZDAMAR, L.; ULUSOY, G. & BAYYIGIT, M. A heuristic treatment of tardiness and net present value criteria in resource constrained project scheduling. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. MCB, v.28, n.9/10, pp. 805-824, 1998.
- PACHECO, R.F. & SANTORO, M.C. Proposta de classificação hierarquizada dos modelos de solução para o problema de *job shop scheduling*. *Gestão & Produção*. São Carlos, v.6, n.1, p.1-15, abr.1999.
- PAYNE, J.H. Management of multiple simultaneous projects: a state-of-the-art review. *International Journal of Project Management*. Elsevier, v.13, n.3, pp. 163-168, 1995.

- PIZZOLATO, N.D.; VÁSQUEZ, S.G.G. & D'AVILA S.L.G. O problema da seqüenciamento da produção em uma indústria química: avaliação de uma aplicação real. *Gestão & Produção*. São Carlos, v.6, n.1, p.16-29, abr.1999.
- PONNAMBALAM, S.G.; JAWAHAR N. & ARAVINDAN, P. A simulated annealing algorithm for job shop scheduling. *Production planning & control*, London, v.10, n.8, p.767-777, 1999.
- PONTRANDOLFO, P. Project duration in stochastic networks by the PERT-path technique. *International Journal of Project Management*. Elsevier, v.18, pp. 215–222, 2000.
- PREMACHANDRA, I.M. An approximation of the activity duration distribution in PERT. *Computers & Operations Research*. Elsevier, v.28, pp. 443–452, 2001.
- RAND, G.K. Critical chain: the theory of constraints applied to project management. *International Journal of Project Management*. Elsevier, v.18, pp. 173–177, 2000.
- RANDHAWA, S.U & ZENG, Y. Job shop scheduling: an experimental investigation of the performance of alternative scheduling rules. *Production planning & control*, London, v.7, n.1, p.47-56, 1996.
- RISING, E. J.; BARON, R.; AVERILL, B. A systems analysis of a university health-service outpatient clinic. *Operations Research*, v.21, n.5, pp.1030-1047, 1973.
- SCHMIDT, C.W. & GROSSMANN, I.E. The exact overall time distribution of a project with uncertain task durations. *European Journal of Operational Research*. Elsevier, v.126, pp. 614–636, 2000.
- SHI, J.J.& DENG, Z. Object-oriented resource-based planning method (ORPM) for construction. *International Journal of Project Management*. Elsevier, v.18, pp. 179–188, 2000.
- SOUZA, F. B. de, PIRES, S. R. Análise e proposições sobre o balanceamento e uso de excesso de capacidade em recursos produtivos. *Gestão & Produção*. São Carlos, v.6, n.2, p.111-126, ago.1999.
- STOOP, P.P.M. & WIERS, V.C.S. The complexity of scheduling in practice. *International Journal of Operations & Production Management*, v.16, n.10, p.37-53, 1996.
- TÉBOUL, J. *A era dos serviços: uma nova abordagem ao gerenciamento*. 1.ed. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 1999.
- THIOLLENT, M. *Metodologia da Pesquisa-ação*. 8.ed. São Paulo: Cortez, 1988.
- THIOLLENT, M. *Pesquisa-ação nas organizações*. São Paulo: Atlas, 1997.
- THOMPSON, G. M. Optimal scheduling of shifts and breaks using employees having limited time-availability. *International Journal of Service Industry Management*, v.7, n.1, p. 56-73, 1996.

- ULUSOY, G. & OZDAMAR, L. A heuristic scheduling algorithm for improving the duration and net present value of a project. *International Journal of Operations & Production Management*. MCB, v.15, n.1, pp. 89–98, 1995.
- VARGAS, G. A.; MANOOCHEHRI, G. H. An assessment of operations in US service firms. *International Journal of Operations & Production Management*, v.15, n.1, p. 24-37, 1995.
- VERDAASDONK, P. J. A.; WOUTERS, M. J. F. Defining an information structure to analyse resource spending changes of Operations Management decisions. *Production planning & control*, London, v.10, n.2, p.162-174, mar. 1999.
- VOLLMAN, T. E.; BERRY, W. L.; WHYBARK, D. C. *Manufacturing planning & control systems*. 4.ed. Boston: McGraw-Hill, 1997.
- WANG, W.; WANG, D.; REN, T-L. Experimental earliness / tardiness production planning with the due window system. *Production planning & control*, London, v.10, n.6, p.553-558, sep. 1999.
- WIENDAHL, H.-P. *Load-Oriented manufacturing control*. 1.ed. Berlin: Springer-Verlag, 1995.
- WORTMAN, J. C.; EUWE, M. J.; TALL, M.; WIERS, V. C. S. A review of capacity planning techniques within standard software packages. *Production planning & control*, London, v.7, n.2, p.117-128, mar./apr. 1996.
- YANG, K.-K. & SUM, C.-C. An evaluation of due date, resource allocation, project release, and activity scheduling rules in a multiproject environment. *European Journal of Operational Research*. Elsevier, v.103, pp. 139–154, 1997.
- YELLING, E.J.; MACKULAK, G.T. Projecting on-time performance for deterministic schedules in dynamic environments. *17th International Conference on Computers and Industrial Engineering*. Great Britain: v.29,n.1-4, p.291-295, 1999

# **ANEXO 1**

Estes anexos contem o detalhamento de passos apresentados no capítulo 3.

## **A 1.1 DIVISÃO DA CAPACIDADE DEMANDADA PELOS SERVIÇOS ENTRE OS FUNCIONÁRIOS E DIVISÃO DAS FASES EM ETAPAS**

### **A 1.1.1 Passo 13-22: Definição da data mais cedo para execução de cada parte**

**Passo 13:** defina  $z = 1$  (primeira parte da matriz  $MP(z;x)$ )

**Passo 14:** defina  $i = MP(z;1)$  e  $dc = 0$ .

**Passo 15:** se  $dc < MP(z;10)$ , então  $dc = MP(z;10)$ .

**Passo 16:** se  $MP(z;8) \neq 0$  (possui data fixa de ocorrência); vá para o passo 17; caso contrário, vá para o passo 20.

**Passo 17:** se  $dc \leq MP(z;8)$ , execute  $MP(z;12) = MP(z;8)$  (defina data mais cedo da parte na matriz  $MP(z;12)$ ) e vá para o passo 18; caso contrário, atualize a matriz  $MP(z;x)$  retirando todos os vetores  $VP'_z(x)$  que possuem  $VP'_z(1) = i$ , informe o programador que existe conflito entre datas fixas para ocorrência de fases ou entre datas fixas e data mais cedo de materiais e vá para o passo 14.

**Passo 18:** se  $MP(z;9) = 2$  (turno da tarde), execute  $dc = MP(z;8) + 1$ ; caso contrário, execute  $dc = MP(z;8)$ .

**Passo 19:** execute  $z = z + 1$  (próxima parte) e vá para o passo 21.

**Passo 20:** execute  $MP(z;12) = dc$  (defina data mais cedo da parte na matriz  $MP(z;12)$ ) e  $z = z + 1$  (próxima parte).

**Passo 21:** se  $z > Z$ , chegou-se ao **fim da divisão da capacidade demandada pelos serviços entre os funcionários e divisão das fases em etapas**; caso contrário, vá para o passo 22.

**Passo 22:** se  $MP(z;1) = i$ , vá para o passo 15; caso contrário, vá para o passo 14.

## **A 1.2 DEFINIÇÃO DOS FUNCIONÁRIOS QUE EXECUTARÃO OS SERVIÇOS**

### **A 1.2.1 Passo 1-5: Divisão da capacidade demandada em grupos de semana**

**Passo 1:** defina  $p = 1$  (primeiro período) e  $s = 1$  (primeira semana).

**Passo 2:** execute  $Cg_s = \frac{Cd_p \times C_{sp}}{C_p}$  (cálculo da capacidade a ser alocada no grupo da semana  $s$ ) e em seguida  $s = s + 1$  (próxima semana).

**Passo 3:** se  $s$  pertence ao período  $p$ , vá para o passo 2; caso contrário, execute  $p = p + 1$  (próximo período) e vá para o passo 4.

**Passo 4:** se  $p > P$ , então  $s = 1$  (primeira semana),  $z = 1$  (primeira linha da matriz  $MP(z, x)$ , que representa a primeira parte da matriz) e vá para o **passo 6**; caso contrário, execute  $s = s - 1$  (retorna a semana anterior) e vá para o passo 5.

**Passo 5:** execute  $Cg_s = Cg_s + \frac{Cd_p \times C_{sp}}{C_p}$  (cálculo da capacidade a ser alocada no grupo da semana  $s$  que pertence a dois períodos  $ps$  distintos) e em seguida  $s = s + 1$  (próxima semana). Vá para o passo 2.

### **A 1.2.2 Passo 6-14: Alocação das fases com data fixa e suas fases anteriores em respectivo grupo da semana**

**Passo 6:** se  $MP(z, 8) = 0$  (parte não possui data fixa para ocorrência), execute  $z = z + 1$  (próxima parte da matriz  $MP(z, x)$ ) e vá para o passo 7; caso contrário, vá para o passo 9.

**Passo 7:** se  $z > Z$  (não existe mais partes na matriz  $MP(z, x)$ ), execute  $s = s + 1$  (próxima semana) e vá para o passo 8; caso contrário, vá para o passo 6.

**Passo 8:** se a semana  $s$  pertence ao horizonte de programação, defina  $z = 1$  (primeira linha da matriz  $MP(z, x)$ ) e vá para o passo 6; caso contrário, defina  $s = 1$  (primeira semana),  $z = 1$  (primeira parte da matriz  $MP(z, x)$ ) e vá para o **passo 15**.

**Passo 9:** se  $MP(z,8)$  (data fixa para ocorrência) for data contida na semana  $s$ , vá para o passo 10; caso contrário, execute  $z = z + 1$  (próxima parte da matriz  $MP(z,x)$ ) e vá para o passo 7.

**Passo 10:**  $i = MP(z,1)$  e  $cont = 1$  ( $cont$  é uma variável auxiliar para contagem de partes anteriores a  $VP_z^t(x)$  pertencente ao serviço  $i$ )

**Passo 11:** se  $z - 1 > 0$  (existe parte anterior a parte em questão na matriz  $MP(z,x)$ ), execute  $z = z - 1$  (seleciona parte anterior da matriz  $MP(z,x)$ ) e vá para o passo 12; caso contrário, vá para o passo 13.

**Passo 12:** se  $MP(z,1) = i$  (parte pertence ao serviço  $i$ ), execute  $cont = cont + 1$  e vá para o passo 11; caso contrário, vá para o passo 13.

**Passo 13:** execute  $h = H + 1$  (seleciona primeira linhavazia da matriz  $MP_s(h,x)$ ),  $MP_s(h,x) = VP_h^t(x) = VP_z^t(x)$  (aloca parte  $z$  na matriz  $MP_s(h,x)$  que representa o grupo da semana  $s$ ),  $cont = cont - 1$  (desconta do contador a parte já alocada),  $MP(z,11) = 1$  (define que parte  $z$  já foi alocada em  $MP_s(h,x)$ ),  $Cg_s = Cg_s - MP(z,7)$  (atualiza capacidade disponível no grupo da semana  $s$ ),  $H = h$  (atualiza número de linhas da matriz  $MP_s(h,x)$ ), por fim,  $z = z + 1$  (próxima parte da matriz  $MP(z,x)$ ).

**Passo 14:** se  $cont = 0$  (todas as partes anteriores à parte selecionada que pertencem ao mesmo serviço  $i$  já foram alocadas na semana  $s$ ), vá para o passo 7; caso contrário, vá para o passo 13.

### **A 1.2.3 Passo 15-21: Alocação das fases não alocadas nos passos 6 a 14 em grupos de semanas**

**Passo 15:** se  $Cg_s > 0$  (existe capacidade disponível no grupo da semana  $s$ ), vá para o passo 17; caso contrário, execute  $s = s + 1$  (próxima semana) e vá para o passo 16.

**Passo 16:** se a semana  $s$  pertence ao horizonte de programação, defina  $z = 1$  (primeira linha da matriz  $MP(z,x)$ ) e vá para o passo 15; caso contrário, defina  $s = 1$  (primeira semana),  $h = 1$  (primeira linha da matriz  $MP_s(h,x)$ ),  $r = 1$  (define a região) e vá para o **passo 22**.

**Passo 17:** se  $MP(z,11) = 0$  (parte ainda não foi alocada) e  $MP(z,12) \leq$  semana  $s$  (data mais cedo da parte não é posterior a semana  $s$ ), vá para o passo 19; caso contrário, execute  $z = z + 1$  (próxima linha da matriz  $MP(z, x)$ ) e vá para o passo 18.

**Passo 18:** se  $z > Z$  (não existe mais partes em  $MP(z, x)$ ), execute  $s = s + 1$  (próxima semana) e vá para o passo 16; caso contrário, vá para o passo 17.

**Passo 19:** executar  $h = H + 1$  (seleciona primeira linhavazia da matriz  $MP_s(h, x)$ ),  $MP_s(h, x) = VP_h^t(x) = VP_z^t(x)$  (aloca parte  $z$  na matriz  $MP_s(h, x)$  que representa o grupo da semana  $s$ ),  $MP(z,11) = 1$  (define que parte  $z$  já foi alocada em  $MP_s(h, x)$ ),  $Cg_s = Cg_s - MP(z,7)$  (atualiza capacidade disponível no grupo da semana  $s$ ),  $H = h$  (atualiza número de linhas da matriz  $MP_s(h, x)$ ), por fim,  $z = z + 1$  (próxima parte da matriz  $MP(z, x)$ ).

**Passo 20:** se  $Cg_s > 0$  (existe capacidade disponível no grupo da semana  $s$ ), vá para o passo 18; caso contrário, vá para o passo 21.

**Passo 21:** se  $MP(z,1) = MP(z-1;1)$  (parte pertence ao mesmo serviço da última parte alocada) e  $MP(z,4) = MP(z-1;4)$  (parte pertence a mesma fase da última parte alocada), vá para o passo 19; caso contrário, execute  $s = s + 1$  (próxima semana) e vá para o passo 16.

#### **A 1.2.4 Passo 22-26: Separação das fases alocadas em cada grupo de semana conforme região de execução**

**Passo 22:** se  $MP_s(h,2) = r$  (parte selecionada pertence a região  $r$ ), vá para o passo 26; caso contrário,  $h = h + 1$  (selecione próxima linha da matriz  $MP_s(h, x)$ ) e vá para o passo 23.

**Passo 23:** se  $h > H$  (não existe mais linhas em  $MP_s(h, x)$ ), execute  $r = r + 1$  (próxima região) e vá para o passo 24; caso contrário, vá para o passo 22.

**Passo 24:** se  $r > R$  (todas as regiões já foram selecionadas), execute  $s = s + 1$  (próxima semana) e vá para o passo 25; caso contrário, defina  $h = 1$  (primeira linha da matriz  $MP_s(h, x)$ ) e vá para o passo 22.

**Passo 25:** se a semana  $s$  pertence ao horizonte de programação, defina  $h = 1$  (primeira linha da matriz  $MP_s(h, x)$ ),  $r = 1$  (define a região) e vá para o passo 22; caso contrário, defina  $s = 1$  (primeira semana),  $r = 1$  (define a região),  $v = 1$  (primeira linha da matriz  $MP_{rs}(v, x)$ ) e vá para o **passo 27**.

**Passo 26:** executar  $v = V + 1$  (seleciona primeira linha vazia da matriz  $MP_{rs}(v, x)$ ),  $MP_{rs}(v, x) = VP'_v(x) = VP'_h(x)$  (aloca vetor  $VP'_h(x)$  da matriz  $MP_s(h, x)$  na matriz  $MP_{rs}(v, x)$ ),  $MP(h, 1) = 1$  (define que parte já foi alocada em  $MP_{rs}(v, x)$ ),  $V = v$  (atualiza número de linhas da matriz  $MP_{rs}(v, x)$ ), e, por fim,  $h = h + 1$  (próxima linha da matriz  $MP_s(h, x)$ ). Vá para o passo 23.

#### **A 1.2.5 Passo 27-34: Alocação de partes de serviços que já possuem funcionários definidos para execução em seus respectivos funcionários**

**Passo 27:** execute  $i = MP_{rs}(v, 1)$  (identifica o serviço  $i$  da parte selecionada).

**Passo 28:** se  $VE_i(1) = 0$  (não existe funcionário definido para execução do serviço  $i$ ), execute  $v = v + 1$  (próxima linha da matriz  $MP_{rs}(v, x)$ ) e vá para o passo 29; caso contrário, defina  $q = MP_{rs}(v, 6)$  (define categoria do funcionário que executa a parte selecionada, ou seja, se o funcionário é primário, secundário, etc.) e vá para o passo 32.

**Passo 29:** se  $v > V$  (não existe mais linhas em  $MP_{rs}(v, x)$ ), execute  $r = r + 1$  (próxima região) e vá para o passo 31; caso contrário, vá para o passo 30.

**Passo 30:** se  $MP_{rs}(v, 1) = i$  (parte pertence ao serviço  $i$ ), execute  $v = v + 1$  (próxima linha da matriz  $MP_{rs}(v, x)$ ) e vá para o passo 29; caso contrário, vá para o passo 27.

**Passo 31:** se  $r > R$  (todas as regiões já foram selecionadas), defina  $r = 1$  (define a região),  $v = 1$  (primeira linha da matriz  $MP_{rs}(v, x)$ ) e vá para o **passo 35**; caso contrário, defina  $v = 1$  (primeira linha da matriz  $MP_{rs}(v, x)$ ) e vá para o passo 27.

**Passo 32:** defina  $y = VE_i(q)$  (define funcionário  $y$  na qual a parte selecionada do serviço  $i$  deve ser alocada).

**Passo 33:** execute  $l = L + 1$  (seleciona primeira linha vazia da matriz  $MP_{ys}(l, x)$ ),  $C_{ys} = C_{ys} - MP_{rs}(v, 7)$  (atualiza capacidade disponível do funcionário  $y$  na semana  $s$ ),  $MP_{ys}(l, x) = VP_l^t(x) = VP_v^t(x)$  (aloca vetor  $VP_v^t(x)$  da matriz  $MP_{rs}(v, x)$  na matriz  $MP_{ys}(l, x)$ ),  $MP_{rs}(v, 11) = 1$  (define que parte já foi alocada na matriz  $MP_{ys}(l, x)$ ),  $L = l$  (atualiza número de linhas da matriz  $MP_{ys}(l, x)$ ) e, por fim,  $v = v + 1$  (próxima linha da matriz  $MP_{rs}(v, x)$ ). Se  $R_y = 0$  (é o primeiro serviço alocado no funcionário  $y$ ) ou  $MP_{ys}(l, 6) = 1$  (parte alocada é executada por funcionário principal), defina também  $R_y = MP_{ys}(l, 6)$ . Vá para o passo 34.

**Passo 34:** se  $v > V$  (não existe mais linhas em  $MP_{rs}(v, x)$ ), execute  $r = r + 1$  (próxima região) e vá para o passo 31; caso contrário, vá para o passo 27.

#### **A 1.2.6 Passo 35-40: Procura por região de maior capacidade demandada, em determinado grupo de semana, que não possui nenhuma parte já alocada em algum funcionário**

**Passo 35:** defina  $Cdmax = 0$  e  $rmax = 0$  ( $Cdmax$  e  $rmax$  são variáveis auxiliares para a identificação da região que possui maior capacidade demandada ainda não alocada,  $rmax$  guarda a região e  $Cdmax$  a capacidade não alocada).

**Passo 36:** se  $\sum_{v=1}^V MP_{rs}(v, 11) = 0$  (nenhuma parte da matriz  $MP_{rs}(v, x)$  possui funcionário definido), vá para o passo 38; caso contrário, execute  $r = r + 1$  (próxima região) e vá para o passo 37.

**Passo 37:** se  $r > R$  (todas as regiões já foram selecionadas), vá para o passo 40; caso contrário, vá para o passo 36.

**Passo 38:** se  $\sum_{v=1}^V MP_{rs}(v, 7) > Cdmax$  (capacidade demandada pelas partes da matriz  $MP_{rs}(v, x)$  e maior que a capacidade máxima identificada), vá para o passo 39; caso contrário, execute  $r = r + 1$  (próxima região) e vá para o passo 37.

**Passo 39:** execute  $rmax = r$  (define  $r$  como a região que possui maior capacidade demandada),  $Cdmax = \sum_{v=1}^V MP_{rs}(v,7)$  (define maior capacidade demandada como a capacidade demandada por  $r$ ),  $r = r + 1$  (próxima região) e vá para o passo 37.

**Passo 40:** se  $rmax > 0$  (foi encontrada alguma região  $r$  no grupo de semana  $s$  onde nenhuma das partes foi alocada em alguma funcionário  $y$ ), vá para o **passo 49**; caso contrário, defina  $r = 1$  (define a região),  $v = 1$  (primeira linha da matriz  $MP_{rs}(v,x)$ ),  $Cd_{rs} = 0$  (define capacidade demandada na região  $r$  pelas partes do grupo da semana  $s$  inicialmente como zero, para posterior preenchimento nos passos que seguem) e vá para o **passo 41**.

#### **A 1.2.7 Passo 41-48: Procura região de maior capacidade demandada por partes ainda não alocadas em um algum funcionário, em um determinado grupo de semana**

**Passo 41:** se  $MP_{rs}(v,11) = 0$  (parte selecionada não possui funcionário executante definido), vá para o passo 46; caso contrário, execute  $v = v + 1$  (próxima linha da matriz  $MP_{rs}(v,x)$ ) e vá para o passo 42.

**Passo 42:** se  $v > V$  (não existe mais linhas em  $MP_{rs}(v,x)$ ), vá para o passo 43; caso contrário, vá para o passo 41.

**Passo 43:** se  $Cdmax \geq Cd_{rs}$  (capacidade demandada na região  $r$  do grupo de semana  $s$  não for maior que a capacidade máxima definida), execute  $r = r + 1$  (próxima região) e vá para o passo 44; caso contrário, vá para o passo 45.

**Passo 44:** se  $r > R$  (todas as regiões já foram selecionadas), vá para o passo 47; caso contrário, defina  $v = 1$  (primeira linha da matriz  $MP_{rs}(v,x)$ ),  $Cd_{rs} = 0$  (define capacidade demandada na região  $r$  pelas partes do grupo da semana  $s$  inicialmente como zero, para posterior preenchimento nos passos que seguem) e vá para o passo 41.

**Passo 45:** execute  $rmax = r$  (define  $r$  como a região que possui maior capacidade demandada),  $Cdmax = Cd_{rs}$  (define maior capacidade demandada como a capacidade demandada por  $r$ ),  $r = r + 1$  (próxima região) e vá para o passo 44.

**Passo 46:** execute  $Cd_{rs} = Cd_{rs} + MP_{rs}(v,7)$  (incrementa  $Cd_{rs}$  com a capacidade demandada por parte selecionada),  $v = v + 1$  (próxima linha da matriz  $MP_{rs}(v,x)$ ) e vá para o passo 42.

**Passo 47:** se  $rmax = 0$  (se não existe partes que ainda não foram alocadas em algum funcionário  $y$  na semana  $s$ ), execute  $s = s + 1$  (próxima semana) e vá para o passo 48; caso contrário, vá para o **passo 49**.

**Passo 48:** se a semana  $s$  pertence ao horizonte de programação, defina  $r = 1$  (define região),  $v = 1$  (primeira linha da matriz  $MP_{rs}(v,x)$ ),  $C_{ys} = C_{ys} + C_{y(s-1)}$  para todos funcionários  $y$  e vá para o **passo 27**; caso contrário, chegou-se ao **fim da definição dos funcionários**.

#### **A 1.2.8 Passo 49-53: Procura região com compatibilidade desejada pela região selecionada em passos anteriores**

**Passo 49:** defina  $r = rmax$  (seleciona região de maior capacidade demandada),  $j = r$  (define índice da matriz de compatibilidade entre regiões) e  $vaux = 0$  ( $vaux$  = variável auxiliar para identificar quando nenhum funcionário possui capacidade disponível positiva).

**Passo 50:** defina  $\varphi = 0$  (compatibilidade desejada entre regiões, que inicialmente é igual a zero representando a procura pela mesma região) e  $n = 1$  (define índice da matriz de compatibilidade entre regiões).

**Passo 51:** se  $MR(j,n) = \varphi$  (regiões selecionadas possuem a compatibilidade desejada), defina  $y = 1$  (define funcionário) e vá para o **passo 54**; caso contrário, execute  $n = n + 1$  (próximo índice da matriz de compatibilidade entre regiões) e vá para o passo 52.

**Passo 52:** se  $n > R$  (não existe mais colunas em  $MR(j,n)$ ), execute  $\varphi = \varphi + 1$  (próxima compatibilidade desejada entre regiões) e vá para o passo 53; caso contrário, vá para o passo 51.

**Passo 53:** se  $\varphi > 2$  (já se passou por todas as compatibilidades existentes), defina  $vaux = 1$  (nenhum funcionário possui capacidade disponível positiva na semana  $s$ ), vá para o

passo 50; caso contrário, defina  $n = 1$  (define índice da matriz de compatibilidade entre regiões) e vá para o passo 51.

#### **A 1.2.9 Passo 54-68: Procura funcionário de maior capacidade líquida disponível que possui seu último serviço alocado na região de compatibilidade desejada**

**Passo 54:** se  $v_{aux} = 0$  (não se sabe se existe funcionário com capacidade disponível positiva na semana  $s$ ), defina  $CL_{ymax} = 0$  e  $y_{max} = 0$ ; caso contrário, defina  $CL_{ymax} = -10000000$  (definir qualquer nº negativo bem baixo) e  $y_{max} = 0$  ( $CL_{ymax}$  e  $y_{max}$  são variáveis auxiliares para a identificação de funcionário que possui maior capacidade líquida disponível,  $y_{max}$  guarda o funcionário e  $CL_{ymax}$  a capacidade líquida disponível do funcionário).

**Passo 55:** se  $VE_{rs}(1) = 0$  (todos funcionários estão aptos para executarem as partes da matriz  $MP_{rs}(v, x)$ ) vá para o passo 60; caso contrário, defina  $a = 1$  (índice do vetor  $VE_{rs}(a)$ ) e vá para o passo 56.

**Passo 56:** se  $VE_{rs}(a) = y$  (funcionário  $y$  não está apto para executar as partes da matriz  $MP_{rs}(v, x)$ ), vá para o passo 58; caso contrário, execute  $a = a + 1$  (incrementa índice do vetor  $VE_{rs}(a)$ ) e vá para o passo 57.

**Passo 57:** se  $a > A$  (não existe mais funcionários no vetor  $VE_{rs}(a)$ ), vá para o passo 60; caso contrário, vá para o passo 56.

**Passo 58:** execute  $y = y + 1$  (próximo funcionário).

**Passo 59:** se  $y > Y$  (todos funcionários já foram selecionados), vá para o passo 68; caso contrário, vá para o passo 55.

**Passo 60:** se  $v_{aux} = 1$  (nenhum funcionário possui capacidade disponível positiva na semana  $s$ ), vá para o passo 62; caso contrário, vá para o passo 61.

**Passo 61:** se  $C_{ys} > 0$  (funcionário  $y$  possui capacidade líquida disponível na semana  $s$ ), vá para o passo 62; caso contrário, vá para o passo 58.

**Passo 62:** se  $R_y = 0$  (é o primeiro serviço alocado no funcionário  $y$ ), vá para o passo 66; caso contrário, vá para o passo 63.

**Passo 63:** se  $R_y = n$  (última parte alocada para o funcionário  $y$  localiza-se na região selecionada), vá para o passo 66; caso contrário, vá para o passo 58.

**Passo 66:** se  $C_{ys} > Clymax$  (capacidade líquida disponível pelo funcionário  $y$  na semana  $s$  é maior que a capacidade líquida disponível máxima), vá para o passo 67; caso contrário, vá para o passo 58.

**Passo 67:** defina  $CLymax = C_{ys}$  (capacidade líquida disponível máxima) e  $y_{max} = y$  (funcionário que possui a capacidade líquida disponível máxima). Vá para o passo 58.

**Passo 68:** se  $y_{max} = 0$  (nenhum funcionário foi selecionado), execute  $n = n + 1$  (próximo índice da matriz de compatibilidade entre regiões) e vá para o **passo 52**; caso contrário,  $v = 1$  (primeira linha da matriz  $MP_{rs}(v, x)$ ),  $y = y_{max}$  (seleciona funcionário definido como o de capacidade líquida disponível máxima),  $v_{aux2} = 0$  e vá para o **passo 69** ( $v_{aux2}$  é uma variável auxiliar utilizada para identificar quando um funcionário já possui sua capacidade líquida disponível na semana  $s$  esgotada).

#### **A 1.2.10 Passo 69-72: Seleciona parte da matriz $MP_{rs}(v, x)$ a ser alocada para funcionário selecionado**

**Passo 69:** se  $MP_{rs}(v, 1) = 0$  (parte selecionada não possui funcionário executante definido), vá para o passo 71; caso contrário, execute  $v = v + 1$  (próxima linha da matriz  $MP_{rs}(v, x)$ ) e vá para o passo 70.

**Passo 70:** se  $v > V$  (não existe mais linhas em  $MP_{rs}(v, x)$ ), defina  $r = 1$  (define região),  $v = 1$  (próxima linha da matriz  $MP_{rs}(v, x)$ ) e vá para o **passo 35**; caso contrário, vá para o passo 69.

**Passo 71:** execute  $i = MP_{rs}(v, 1)$  (identifica o serviço  $i$  da parte selecionada) e  $yd = MP_{rs}(v, 6)$  (categoria do funcionário que executa a parte, ou seja, se é principal, secundário, etc).

**Passo 72:** se  $yd = 1$  (funcionário principal), vá para o **passo 73**; caso contrário, defina  $q = 1$  (índice do vetor  $VE_i(q)$  que representa o funcionário principal) e vá para o **passo 81**.

### A 1.2.11 Passo 73-80: Alocação de partes em funcionário selecionado

**Passo 73:** se  $C_{ys} - MP_{rs}(v,7) > 0$  (existe capacidade líquida disponível no funcionário  $y$  na semana  $s$  para a alocação da parte selecionada), vá para o passo 74; caso contrário, vá para o **passo 86**.

**Passo 74:** execute  $l = L + 1$  (seleciona primeira linha vazia da matriz  $MP_{ys}(l,x)$ ),  $C_{ys} = C_{ys} - MP_{rs}(v,7)$  (atualiza capacidade disponível do funcionário  $y$  na semana  $s$ ),  $MP_{ys}(l,x) = VP_l^t(x) = VP_v^t(x)$  (aloca vetor  $VP_v^t(x)$  da matriz  $MP_{rs}(v,x)$  na matriz  $MP_{ys}(l,x)$ ),  $MP_{rs}(v,11) = 1$  (define que parte já foi alocada na matriz  $MP_{rs}(v,x)$ ),  $L = l$  (atualiza número de linhas da matriz  $MP_{ys}(l,x)$ ) e  $VE_{rs}(a) = 0$  para  $a = 1, 2, \dots, A$ . Se  $R_y = 0$  ou  $MP_{ys}(l,6) = 1$ , execute também  $R_y = MP_{ys}(l,2) = 1$ .

**Passo 75:** execute  $v = v + 1$  (próxima linha da matriz  $MP_{rs}(v,x)$ ).

**Passo 76:** se  $v > V$  (não existe mais linhas em  $MP_{rs}(v,x)$ ), vá para o passo 79; caso contrário, vá para o passo 77.

**Passo 77:** se  $MP_{rs}(v,1) = i$  (parte selecionada pertence ao serviço  $i$ ), vá para o passo 78; caso contrário, vá para o passo 79.

**Passo 78:** se  $MP_{rs}(v,6) = yd$  (categoria do funcionário da parte é o mesmo da parte já alocada), vá para o passo 73; caso contrário, vá para o passo 75.

**Passo 79:** defina  $q = yd$  e execute  $VE_i(q) = y$  e  $Q = q$ .

**Passo 80:** se  $v_{aux2} = 0$  e  $v \leq V$  (funcionário não possui sua capacidade líquida disponível na semana  $s$  esgotada e ainda existem mais partes em  $MP_{rs}(v,x)$ ), vá para o **passo 69**; caso contrário, defina  $r = 1$  (define a região),  $v = 1$  (primeira linha da matriz  $MP_{rs}(v,x)$ ) e vá para o **passo 35**.

### **A 1.2.12 Passo 81-85: Verifica se funcionário selecionado não executa o serviço da parte selecionada com outra categoria de funcionário**

**Passo 81:** se  $VE_i(q) = y$  (funcionário que já executa serviço  $i$  é igual a funcionário selecionado), execute  $v = v + 1$  (próxima linha da matriz  $MP_{rs}(v, x)$ ) e vá para o passo 83; caso contrário, execute  $q = q + 1$  (próximo índice do vetor  $VE_i(q)$ ) e vá para o passo 82.

**Passo 82:** se  $q > Q$  (se não existem mais funcionários armazenados em  $VE_i(q)$ ), vá para o **passo 73**; caso contrário, vá para o passo 81.

**Passo 83:** se  $v > V$  (não existe mais linhas em  $MP_{rs}(v, x)$ ), vá para o passo 85; caso contrário, vá para o passo 84.

**Passo 84:** se  $MP_{rs}(v, 1) = i$  (parte pertence a serviço  $i$ ), execute  $v = v + 1$  (próxima linha da matriz  $MP_{rs}(v, x)$ ) e vá para o passo 83; caso contrário, vá para o **passo 69**.

**Passo 85:** execute  $a = A + 1$  (seleciona primeiro valor vazio do vetor  $VE_{rs}(a)$ ),  $VE_{rs}(a) = y$  (aloca funcionário  $y$  no vetor  $VE_{rs}(a)$ ),  $A = a$  (atualiza número de valores contidos no vetor  $VE_{rs}(a)$ ),  $r = 1$  (define a região),  $v = 1$  (primeira linha da matriz  $MP_{rs}(v, x)$ ) e vá para o **passo 35**.

### **A 1.2.13 Passo 86-97: Verifica se serviço da parte pertence ao primeiro ou último serviço não alocado da matriz $MP_{rs}(v, x)$**

**Passo 86:** defina  $vg = v$  e, em seguida,  $v = 1$  (onde  $vg$  é uma variável auxiliar para guardar o valor de  $v$ ).

**Passo 87:** se  $MP_{rs}(v, 1) = 0$  (parte selecionada não possui funcionário executante definido), vá para o passo 88; caso contrário, execute  $v = v + 1$  (próxima linha da matriz  $MP_{rs}(v, x)$ ) e repita o passo 87.

**Passo 88:** se  $v = vg$  (índice  $v$  é igual ao índice  $v$  guardado em  $vg$ ),  $v_{aux2} = 1$  (funcionário possui sua capacidade líquida disponível na semana  $s$  esgotada) e vá para o

**passo 74:** caso contrário, execute  $v = V$  (seleciona última linha da matriz  $MP_{rs}(v, x)$ ) e vá para o passo 89.

**Passo 89:** se  $MP_{rs}(v, 11) = 0$  (parte selecionada não possui funcionário executante definido), vá para o passo 90; caso contrário, execute  $v = v - 1$  (linha anterior da matriz  $MP_{rs}(v, x)$ ) e repita o passo 89.

**Passo 90:** se  $MP_{rs}(v, 1) = i$  (parte pertence a serviço  $i$ ), defina  $v = vg$  (índice  $v$  igual ao índice  $v$  guardado em  $vg$ ),  $v_{aux2} = 1$  (funcionário possui sua capacidade líquida disponível na semana  $s$  esgotada) e vá para o **passo 74**; caso contrário, defina  $v = vg$  (índice  $v$  igual ao índice  $v$  guardado em  $vg$ ),  $v_{aux2} = 0$  e vá para o passo 91.

**Passo 91:** se  $MP_{rs}(v, 1) = MP_{ys}(L, 1)$  (parte selecionada na matriz  $MP_{rs}(v, x)$  e última parte alocada na matriz  $MP_{ys}(l, x)$  pertencem ao mesmo serviço), vá para o passo 92; caso contrário, vá para o passo 93.

**Passo 92:** execute  $C_{ys} = C_{ys} + MP_{rs}(v, 7)$  (desaloca capacidade demandada pela parte da capacidade líquida disponível do funcionário  $y$  na semana  $s$ ),  $MP_{ys}(L, x) = 0$  (desaloca parte do serviço  $i$  já alocado para o funcionário  $y$ ),  $L = L + 1$  (atualiza número de linhas da matriz  $MP_{ys}(l, x)$ ) e vá para o passo 91.

**Passo 93:** defina  $i = MP_{rs}(v, 1)$  (identifica o serviço  $i$  da parte selecionada),  $yd = MP_{rs}(v, 6)$  (identifica categoria de funcionário que executa parte selecionada), em seguida  $vg = v$  (guarda valor de  $v$  em  $vg$ ) e, por fim,  $v = 1$  (primeira linha da matriz  $MP_{rs}(v, x)$ ).

**Passo 94:** se  $i = MP_{rs}(v, 1)$  (parte pertence a serviço  $i$ ) e  $yd = MP_{rs}(v, 6)$  (categoria de funcionário que executa parte é igual a  $yd$  definido anteriormente), execute  $MP_{rs}(v, 11) = 0$  (define que parte não está mais alocada na matriz  $MP_{ys}(l, x)$ ) e, em seguida,  $v = v + 1$  (próxima linha da matriz  $MP_{rs}(v, x)$ ); caso contrário, execute apenas  $v = v + 1$  (próxima linha da matriz  $MP_{rs}(v, x)$ ).

**Passo 95:** se  $v = vg$  (índice  $v$  igual ao índice  $v$  guardado em  $vg$ ), execute  $v = v + 1$  (próxima linha da matriz  $MP_{rs}(v,x)$ ) e vá para o passo 96; caso contrário, vá para o passo 94.

**Passo 96:** se  $v > V$  (não existe mais linhas em  $MP_{rs}(v,x)$ ), defina  $r = 1$  (define a região),  $v = 1$  (primeira linha da matriz  $MP_{rs}(v,x)$ ) e vá para o **passo 35**; caso contrário, vá para o passo 97.

**Passo 97:** se  $i = MP_{rs}(v,1)$  (parte pertence a serviço  $i$ ), execute  $v = v + 1$  (próxima linha da matriz  $MP_{rs}(v,x)$ ) e vá para o passo 96; caso contrário, vá para o **passo 69**.

### **A 1.3 GERAÇÃO DO CRONOGRAMA DE SERVIÇOS**

#### **A 1.3.1 Passo 1-7: Alocação de partes com data fixa para ocorrência**

**Passo 1:** defina  $y = 1$  (índice do primeiro funcionário),  $l = 1$  (índice da primeira linha da matriz  $MP_{ys}(l,x)$ ) e  $s = 1$  (índice da primeira semana).

**Passo 2:** se  $MP_{ys}(l,8) \neq 0$  (parte possui data fixa para execução), vá para o passo 5; caso contrário, execute  $l = l + 1$  (próxima linha da matriz  $MP_{ys}(l,x)$ ) e vá para o passo 3.

**Passo 3:** se  $l > L$  (não existe mais linhas em  $MP_{ys}(l,x)$ ), execute  $y = y + 1$  (próximo funcionário) e vá para o passo 4; caso contrário, vá para o passo 2.

**Passo 4:** se  $y > Y$  (todos funcionários já foram selecionados), defina  $y = 1$  (índice do primeiro funcionário),  $l = 1$  (índice da primeira linha da matriz  $MP_{ys}(l,x)$ ) e vá para o **passo 8**; caso contrário, defina  $l = 1$  (índice da primeira linha da matriz  $MP_{ys}(l,x)$ ) e vá para o passo 2.

**Passo 5:** defina  $d = MP_{ys}(l,8)$  (índice de dia  $d$  igual a data fixa de execução da parte selecionada).

**Passo 6:** execute  $w = W + 1$  (seleciona índice da primeira linha vazia da matriz  $MP_{dy}(w,x)$ ),  $i = MP_{ys}(l,1)$  (índice de serviço igual ao serviço que pertence a parte selecionada),  $CL_{yd} = CL_{yd} - MP_{ys}(l,7) + tda_{iyd}$  (atualiza capacidade disponível no

funcionário  $y$  no dia  $d$ ),  $tda_{iyd} = 2 \times tt_i$  (atualiza tempo de deslocamento do serviço  $i$  no dia  $d$  do funcionário  $y$ ),  $MP_{dy}(w, x) = VP'_w(x) = VP'_l(x)$  (aloca vetor  $VP'_l(x)$  da matriz  $MP_{ys}(l, x)$  na matriz  $MP_{dy}(w, x)$ ),  $MP_{ys}(l, 11) = 1$  (define que parte já foi alocada na matriz  $MP_{ys}(l, x)$ ),  $W = w$  (atualiza número de linhas da matriz  $MP_{dy}(w, x)$ ) e  $l = l + 1$  (próxima linha da matriz  $MP_{ys}(l, x)$ ).

**Passo 7:** vá para o passo 3.

### A 1.3.2 Passo 8-22: Alocação de partes anteriores às com data fixa para ocorrência

**Passo 8:** se  $MP_{ys}(l, 11) = 1$  (parte já foi alocada em alguma matriz  $MP_{dy}(w, x)$ ), defina  $i = MP_{ys}(l, 1)$  (índice de serviço igual ao serviço que pertence a parte selecionada),  $v_{aux3} = 0$  e  $v_{aux4} = 0$  ( $v_{aux3}$  é variável auxiliar para identificar se a parte do serviço  $i$  imediatamente anterior da parte em questão já foi alocada;  $v_{aux4}$  é variável auxiliar para identificar se a parte do serviço  $i$  deve necessariamente ser alocada no dia  $d$  devido a data mais cedo),  $d = MP_{ys}(l, 8)$  (índice de dia  $d$  igual a data fixa de execução da parte selecionada),  $lg = l$  (onde  $lg$  é uma variável auxiliar para guardar o valor de  $l$ ),  $l = l - 1$  (linha anterior da matriz  $MP_{ys}(l, x)$ ) e vá para o passo 11; caso contrário, execute  $l = l + 1$  (próxima linha da matriz  $MP_{ys}(l, x)$ ) e vá para o passo 9.

**Passo 9:** se  $l > L$  (não existe mais linhas em  $MP_{ys}(l, x)$ ), execute  $y = y + 1$  (próximo funcionário) e vá para o passo 10; caso contrário, vá para o passo 8.

**Passo 10:** se  $y > Y$  (todos funcionários já foram selecionados), execute  $s = s + 1$  (próxima semana) e vá para o **passo 22**; caso contrário, defina  $l = 1$  (índice da primeira linha da matriz  $MP_{ys}(l, x)$ ) e vá para o passo 8.

**Passo 11:** se  $i = MP_{ys}(l, 1)$  (índice de serviço igual ao serviço que pertence a parte selecionada) e  $MP_{ys}(l, 6) = 1$  (categoria do funcionário que executa a parte é principal), vá para o passo 13; caso contrário, execute  $l = l - 1$  (linha anterior da matriz  $MP_{ys}(l, x)$ ) e vá para o passo 12.

**Passo 12:** se  $l < 0$  (não existe mais linhas na matriz anteriores na matriz  $MP_{ys}(l, x)$ ), execute  $l = lg + 1$  (índice  $l$  é igual ao índice posterior ao  $l$  guardado em  $lg$ ) e vá para o passo 9; caso contrário, vá para o passo 11.

**Passo 13:** se  $MP_{ys}(l, 8) = 0$  (parte não possui data fixa para execução), vá para o passo 14; caso contrário, execute  $l = lg + 1$  (índice  $l$  é igual ao índice posterior ao  $l$  guardado em  $lg$ ) e vá para o passo 9.

**Passo 14:** se  $vaux3 = 0$  (parte selecionada é a parte do serviço  $i$  imediatamente anterior da parte com data fixa já alocada), vá para o passo 15; caso contrário, vá para o passo 16.

**Passo 15:** se  $MP_{ys}(lg, 9) \neq 1$  (turno para execução da parte com data fixa não é pela manhã), execute  $d = MP_{ys}(lg, 8)$  (índice de dia  $d$  igual a data fixa de execução da parte de data fixa),  $vaux3 = 1$  (parte do serviço  $i$  imediatamente anterior da parte com data fixa já alocada já foi selecionada) e vá para o passo 16; caso contrário, execute  $d = MP_{ys}(lg, 8) - 1$  (índice de dia  $d$  igual a dia anterior a data fixa de execução da parte de data fixa),  $vaux3 = 1$  (parte do serviço  $i$  imediatamente anterior da parte com data fixa já alocada já foi selecionada) e vá para o passo 17.

**Passo 16:** se  $CL_{yd} + fHE + tda_{iyd} \geq MP_{ys}(l, 7)$  (existe capacidade líquida disponível no funcionário  $y$  no dia  $d$  para a alocação da parte selecionada), execute o passo 6 (aloca parte em  $MP_{dy}(w, x)$  e passa para próximo índice da matriz  $MP_{ys}(l, x)$ ),  $f = MP_{ys}(l, 4)$  (define índice de fase como a fase da parte selecionada) e vá para o passo 20; caso contrário, execute  $d = d - 1$  (dia anterior) e vá para o passo 17.

**Passo 17:** se  $d < dia da programação$  (dia anterior não pertence ao horizonte de programação) ou  $d < MP_{ys}(l, 12)$  (dia é anterior a data mais cedo da parte), defina  $d = d + 1$  (próximo dia) e vá para o passo 18; caso contrário, vá para o passo 16.

**Passo 18:** se  $d > MP_{ys}(lg, 8)$  (índice de dia  $d$  é anterior a data fixa da parte de data fixa), defina  $d = MP_{ys}(lg, 8)$

**Passo 19:** execute passo o 6,  $f = MP_{ys}(l,4)$  (define índice de fase como a fase da parte selecionada) e  $vaux4 = 1$  (identifica que a parte do serviço  $i$  deve necessariamente ser alocada no dia  $d$  devido a data mais cedo).

**Passo 20:** se  $Yd_{fi}=1$  (fase do serviço é executada por apenas um funcionário), execute  $l=l-1$  (linha anterior da matriz  $MP_{ys}(l,x)$ ) e vá para o passo 12; caso contrário, execute o passo 23 e vá para o passo 21.

**Passo 21:** se  $q = 0$  (parte foi desalocada do funcionário onde tinha sido alocada), execute  $d = d - 1$  (dia anterior) e vá para o passo 17, caso contrário, execute  $l = l - 1$  (linha anterior da matriz  $MP_{ys}(l,x)$ ),  $vaux4 = 0$  (reinicia  $vaux4$  zerando-a) e vá para o passo 12.

**Passo 22:** se a semana  $s$  pertence ao horizonte de programação, defina  $y = 1$  (índice do primeiro funcionário),  $l = 1$  (índice da primeira linha da matriz  $MP_{ys}(l,x)$ ) e vá para o **passo 2**; caso contrário, defina  $y = 1$  (índice do primeiro funcionário),  $s = 1$  (índice da primeira semana),  $l = 1$  (índice da primeira linha da matriz  $MP_{ys}(l,x)$ ) e vá ao **passo 24**.

### **A 1.3.3 Passo 23: Alocação de partes nos demais funcionários**

#### **A 1.3.3.1 Passo 23.1 – 23.7: Alocação das demais partes caso haja capacidade**

**Passo 23.1:** execute  $yg = y$  ( $yg$  é uma variável auxiliar para guardar  $y$ ),  $lgg = l$  (onde  $lgg$  é uma variável auxiliar para guardar o valor de  $l$ ),  $e = MP_{ys}(l,5)$  (define etapa da fase) e  $q = 2$  (índice do vetor  $VE_i(q)$  que identifica funcionário secundária).

**Passo 23.2:** defina  $y = VE_i(q)$  (seleciona outro funcionário que executa serviço) e  $l = 1$  (índice da primeira linha da matriz  $MP_{ys}(l,x)$ ).

**Passo 23.3:** se  $i = MP_{ys}(l,1)$  (índice de serviço igual ao serviço que pertence a parte selecionada),  $f = MP_{ys}(l,4)$  (fase é igual a fase que pertence a parte selecionada) e  $e = MP_{ys}(l,5)$  (etapa é igual a etapa que pertence a parte selecionada), vá para o

passo 23.4; caso contrário, execute  $l = l + 1$  (próxima linha da matriz  $MP_{ys}(l, x)$ ) e repita o passo 23.3.

**Passo 23.4:** se  $v_{aux4} = 1$  (parte do serviço  $i$  deve necessariamente ser alocada no dia  $d$  devido a data mais cedo), vá para o passo 23.6; caso contrário, vá para o passo 23.5.

**Passo 23.5:** se  $CL_{yd} + fHE + tda_{iyd} \geq MP_{ys}(l, 7)$  (existe capacidade líquida disponível no funcionário  $y$  no dia  $d$  para a alocação da parte selecionada), vá para o passo 23.6; caso contrário, execute  $q = q - 1$  (retorna um índice do vetor  $VE_i(q)$  para identificação dos funcionários anteriores) e vá para o **passo 23.8**.

**Passo 23.6:** execute passo 6 (aloca parte em  $MP_{dy}(w, x)$  e passa para próximo índice da matriz  $MP_{ys}(l, x)$ ),  $q = q + 1$  (próximo índice do vetor  $VE_i(q)$  para identificação dos funcionários posteriores) e vá para o passo 23.7.

**Passo 23.7:** se  $q > Yd_{fi}$  (não existem mais funcionários que executam a fase), defina  $y = yg$  (recupera funcionário  $y$  guardado na variável auxiliar  $yg$ ) e  $l = lgg$  (recupera valor de  $l$  guardado na variável auxiliar  $lgg$ ) e **fim do passo 23**; caso contrário, vá para o passo 23.2.

#### **A 1.3.3.2 Passo 23.8 – 23.11: Desalocação das partes já alocadas, caso não haja capacidade em algum funcionário**

**Passo 23.8:** se  $q \leq 1$  (índice do vetor  $VE_i(q)$  representa funcionário principal ou não existem mais índices para o vetor), vá para o passo 23.9; caso contrário, execute passo 23.2 e vá para o passo 23.10.

**Passo 23.9:** se  $q = 1$  (índice do vetor  $VE_i(q)$  representa funcionário principal), defina  $y = yg$  (recupera funcionário  $y$  guardado na variável auxiliar  $yg$ ) e  $l = lgg$  (recupera valor de  $l$  guardado na variável auxiliar  $lgg$ ) e vá para o passo 23.11; caso contrário, **fim do passo 23**.

**Passo 23.10:** se  $i = MP_{ys}(l, 1)$  (índice de serviço igual ao serviço que pertence a parte selecionada),  $f = MP_{ys}(l, 4)$  (fase é igual a fase que pertence a parte selecionada) e

$e = MP_{ys}(l,5)$  (etapa é igual a etapa que pertence a parte selecionada), vá para o passo 23.11; caso contrário, execute  $l = l + 1$  (próxima linha da matriz  $MP_{ys}(l,x)$ ) e repita o passo 23.10.

**Passo 23.11:** execute  $w = W$  (seleciona índice da última linha da matriz  $MP_{dy}(w,x)$ ),  $i = MP_{ys}(l,1)$  (índice de serviço igual ao serviço que pertence a parte selecionada),  $CL_{yd} = CL_{yd} + MP_{ys}(l,7) - tda_{iyd}$  (desaloca capacidade demandada pela parte da capacidade disponível no funcionário  $y$  no dia  $d$ ),  $MP_{dy}(w,x) = VP'_w(x) = 0$  (desaloca vetor  $VP'_l(x)$  da matriz  $MP_{ys}(l,x)$  na matriz  $MP_{dy}(w,x)$ ),  $MP_{ys}(l,11) = 0$  (define que parte não foi alocada na matriz  $MP_{ys}(l,x)$ );  $W = w - 1$  (atualiza número de linhas da matriz  $MP_{dy}(w,x)$ ),  $q = q - 1$  (retorna um índice do vetor  $VE_i(q)$  para identificação dos funcionários anteriores). Se não existir outro parte do serviço  $i$  em  $MP_{dy}(w,x)$  execute também  $tda_{iyd} = 0$  (retira tempo de deslocamento do serviço  $i$  no dia  $d$  do funcionário  $y$ ). Vá para o passo 23.8.

#### A 1.3.4 Passo 24-33: Alocação de partes ainda não alocadas

**Passo 24:** se  $MP_{ys}(l,11) = 0$  (parte não foi alocada em alguma matriz  $MP_{dy}(w,x)$ ) e  $MP_{ys}(l,6) = 1$  (categoria do funcionário executante igual a principal), defina  $i = MP_{ys}(l,1)$  (índice de serviço igual ao serviço que pertence a parte selecionada),  $f = MP_{ys}(l,4)$  (define índice de fase como a fase da parte selecionada) e vá para o passo 25; caso contrário, execute  $l = l + 1$  (próxima linha da matriz  $MP_{ys}(l,x)$ ) e vá para o passo 26.

**Passo 25:** se  $dmc_i = 0$  (ainda não definiu-se uma data mais cedo para o serviço  $i$ ), defina  $d = MP_{ys}(l,12)$  (índice de dia  $d$  igual a data mais cedo da parte) e vá para o passo 29; caso contrário, defina  $d = dmc_i$  (índice de dia  $d$  igual a data mais cedo do serviço  $i$ ) e vá para o passo 29.

**Passo 26:** se  $l > L$  (não existe mais linhas em  $MP_{ys}(l,x)$ ), execute  $y = y + 1$  (próximo funcionário) e vá para o passo 27; caso contrário, vá para o passo 24.

**Passo 27:** se  $y > Y$  (todos funcionários já foram selecionados), execute  $s = s + 1$  (próxima semana) e vá para o passo 28; caso contrário, defina  $l = 1$  (índice da primeira linha da matriz  $MP_{ys}(l, x)$ ) e vá para o passo 24.

**Passo 28:** se a semana  $s$  pertence ao horizonte de programação, defina  $y = 1$  (índice do primeiro funcionário),  $l = 1$  (índice da primeira linha da matriz  $MP_{ys}(l, x)$ ) e vá para o passo 24; caso contrário, **fim do cronograma de serviços**.

**Passo 29:** se  $d$  pertence ao horizonte de programação, vá para o passo 30; caso contrário, execute  $dmc_i = d$  (define  $dmc_i$  como data não pertencente ao horizonte de programação já que não há capacidade disponível no horizonte de programação) e  $l = l + 1$  (próxima linha da matriz  $MP_{ys}(l, x)$ ) e vá para o passo 26.

**Passo 30:** se  $CL_{yd} + fHE + tda_{iyd} \geq MP_{ys}(l, 7)$  (existe capacidade líquida disponível no funcionário  $y$  no dia  $d$  para a alocação da parte selecionada), execute o passo 6 (aloca parte em  $MP_{dy}(w, x)$  e passa para próximo índice da matriz  $MP_{ys}(l, x)$ ) e vá para o passo 31; caso contrário, vá para o passo 33.

**Passo 31:** se  $Yd_{fi} = 1$  (fase do serviço é executada por apenas um funcionário), execute  $l = l + 1$  (próxima linha da matriz  $MP_{ys}(l, x)$ ), defina  $dmc_i = d$  (data mais cedo do serviço  $i$  igual a data em que parte foi alocada) e vá para o passo 26; caso contrário, execute o passo 23 (aloca parte nos outros funcionários se houver capacidade, ou desaloca no funcionário principal) e vá para o passo 32.

**Passo 32:** se  $q = 0$  (parte foi desalocada do funcionário onde tinha sido alocada), execute  $d = d + 1$  (próximo dia) e vá para o passo 29, caso contrário, execute  $l = l + 1$  (próxima linha da matriz  $MP_{ys}(l, x)$ ), defina  $dmc_i = d$  (data mais cedo do serviço  $i$  igual a data em que parte foi alocada) e vá para o passo 26.

**Passo 33:** se  $VF_{if}^t(3) = 1$  (fase possui apenas uma etapa), execute  $d = d + 1$  (próximo dia) e vá para o passo 29; caso contrário, defina  $E = VF_{if}^t(3)$  (número de etapas da fase),  $lg = l$  (onde  $lg$  é uma variável auxiliar para guardar o valor de  $l$ ),  $l = l + 1$  (próxima linha da matriz  $MP_{ys}(l, x)$ ) e vá para o **passo 34**.

### **A 1.3.5 Passo 34-36: Tentativa de alocação da última etapa da fase no dia $d$**

**Passo 34:** se  $MP_{ys}(l,1) = i$  (serviço que pertence a parte selecionada igual ao índice de serviço definido),  $MP_{ys}(l,4) = f$  (fase que pertence a parte selecionada igual ao índice de fase definido) e  $MP_{ys}(l,5) = E$  (etapa que pertence a parte selecionada igual ao última etapa da fase) , vá para o passo 35; caso contrário, execute  $l = l + 1$  (próxima linha da matriz  $MP_{ys}(l,x)$ ) e repita o passo 34.

**Passo 35:** se  $CL_{yd} + fHE + tda_{iyd} \geq MP_{ys}(l,7)$  (existe capacidade líquida disponível no funcionário  $y$  no dia  $d$  para a alocação da parte selecionada), execute passo 6 (aloca parte em  $MP_{dy}(w,x)$  e passa para próximo índice da matriz  $MP_{ys}(l,x)$ ) e  $dmc_i = d$  (data mais cedo do serviço  $i$  igual a data em que parte foi alocada).

**Passo 36:** execute  $l = lg$  (recupera valor de  $l$  guardado na variável auxiliar  $lg$ ),  $d = d + 1$  (próximo dia) e vá para o **passo 29**.

## **ANEXO 2**

Estes anexos contem as matrizes e tabelas geradas com dados apresentados no capítulo 2.

**A 2.1 OBRAS EM ESTADO PREVISTO E PROGRAMADO EM ORDEM  
CRESCENTE DE  $dl_i$ .**

<i>i</i>	$dl_i$	<i>f</i>	$dm_{fi}$	$Cd_{fi}$	$Cd_i$	estado
MC601	7/1	1	-	9,5	23	programado
		2	4/1	13,5		
MP1	10/1	1	8/1	11	11	programado
MC1801	12/1	1	-	9	22	programado
		2	3/1	13		
PT1	14/1	1	-	7	17	programado
		2	10/1	10		
MP2	19/1	1	-	24	59,5	programado
		2	16/1	18,5		
		3	19/1	17		
PT2	20/1	1	-	16	38	programado
		2	6/1	17		
		3	-	5		
MC602	25/1	1	-	17	44	programado
		2	12/1	14,5		
		3	-	4,5		
		4	18/1	8		
MC1802	28/1	1	-	23	100,5	programado
		2	11/1	19		
		3	17/1	16		
		4	-	13		
		5	24/1	14,5		
		6	-	5		
MC603	4/2	1	-	14,5	63,5	programado
		2	-	15		
		3	-	14		
		4	-	7		
		5	-	13		
PT3	5/2	1	-	16	29	programado
		2	-	13		
MC1803	9/2	1	-	25,5	65,5	programado
		2	-	22,5		
		3	-	17,5		
MP3	15/2	1	-	19	73	programado
		2	-	18,5		
		3	-	17		
		4	-	18,5		

MC604	18/2	1	-	17	30	programado
		2	-	13		
MC1804	21/2	1	-	8,5	22	programado
		2	-	13,5		
A1	25/2	1	-	47	281	programado
		2	-	21		
		3	-	16		
		4	-	29		
		5	-	13		
		6	-	53		
		7	-	21		
		8	-	21		
		9	-	19		
		10	-	20		
		11	-	21		
MC605	26/2	1	-	27,5	77,5	programado
		2	-	15,5		
		3	-	9		
		4	-	10		
		5	-	7		
		6	-	8,5		
MP4	4/3	1	-	16	38	programado
		2	-	22		
MC1805	8/3	1	-	21,5	45,5	programado
		2	-	12		
		3	-	12		
MP5	14/3				40	previsto
MP6	18/3				15	previsto
MC1806	21/3				80	previsto
MC1807	24/3				50	previsto

## A 2.2 RESULTADOS OBTIDOS NA EXECUÇÃO DOS PASSOS 5-20 DO PLANEJAMENTO

período $p$	$i$	$dl_i$	$Cd_i$	$CL_p$
1	MC601	7/1	23	490,8
	MP1	10/1	11	
	MC1801	12/1	22	
	PT1	14/1	17	
	MP2	19/1	59,5	
	PT2	20/1	38	
	MC602	25/1	44	
	MC1802	28/1	100,5	

## A 2.3 LISTA ATUALIZADA DE OBRAS APÓS EXECUÇÃO DOS PASSOS 5-20 DO PLANEJAMENTO

$i$	$dl_i$	$f$	$dm_{fi}$	$Cd_{fi}$	$Cd_i$	estado
MC603	4/2	1	-	14,5	63,5	programado
		2	-	15		
		3	-	14		
		4	-	7		
		5	-	13		
PT3	5/2	1	-	16	29	programado
		2	-	13		
MC1803	9/2	1	-	25,5	65,5	programado
		2	-	22,5		
		3	-	17,5		
MP3	15/2	1	-	19	73	programado
		2	-	18,5		
		3	-	17		
		4	-	18,5		
MC604	18/2	1	-	17	30	programado
		2	-	13		
MC1804	21/2	1	-	8,5	22	programado
		2	-	13,5		

		1	-	47		
		2	-	21		
		3	-	16		
		4	-	29		
		5	-	13		
A1	25/2	6	-	53	281	programado
		7	-	21		
		8	-	21		
		9	-	19		
		10	-	20		
		11	-	21		
		1	-	27,5		
		2	-	15,5		
MC605	26/2	3	-	9	77,5	programado
		4	-	10		
		5	-	7		
		6	-	8,5		
MP4	4/3	1	-	16	38	programado
		2	-	22		
		1	-	21,5		
MC1805	8/3	2	-	12	45,5	programado
		3	-	12		
MP5	14/3				40	previsto
MP6	18/3				15	previsto
MC1806	21/3				80	previsto
MC1807	24/3				50	previsto

**A 2.4 MATRIZ  $MF(m,k)$  RESULTANTE DA EXECUÇÃO DOS PASSOS DA  
PRIORIZAÇÃO DE SERVIÇOS APRESENTADOS NA SEÇÃO 3.3.1**

$MF(m,k) =$	$VF_{i,f}^t(k)$	$r$	$ip$	$E$	$Yd$	$td$	$tt$	$dm$	$tu$	$dcm$
	$VF_{PT2,1}^t(1)$	4	1	2	1	10	1,5	0/0	0	1/1
	$VF_{PT2,2}^t(2)$	4	1	1	3	8	1,5	6/1	2	1/1
	$VF_{PT2,3}^t(3)$	4	1	1	1	2	1,5	0/0	0	1/1
	$VF_{MC601,1}^t(4)$	1	2	1	1	7	1,25	0/0	0	1/1
	$VF_{MC601,2}^t(5)$	1	2	1	3	6	1,25	4/1	2	1/1
	$VF_{MC1801,1}^t(6)$	3	3	1	1	6,5	1,25	0/0	0	1/1
	$VF_{MC1801,2}^t(7)$	3	3	1	3	5,5	1,25	3/1	1	1/1
	$VF_{PT1,1}^t(8)$	1	4	1	1	5	1	0/0	0	1/1
	$VF_{PT1,2}^t(9)$	1	4	1	3	4	1	10/1	1	1/1
	$VF_{MC602,1}^t(10)$	1	5	2	1	14	0,75	0/0	0	8/1
	$VF_{MC602,2}^t(11)$	1	5	1	3	10	0,75	12/1	1	8/1
	$VF_{MC602,3}^t(12)$	1	5	1	1	3	0,75	0/0	0	8/1
	$VF_{MC602,4}^t(13)$	1	5	1	2	5	0,75	18/1	1	8/1
	$VF_{MC1802,1}^t(14)$	1	6	3	1	17	1	0/0	0	1/1
	$VF_{MC1802,2}^t(15)$	1	6	1	3	13	1	11/1	1	1/1
	$VF_{MC1802,3}^t(16)$	1	6	1	3	10	1	17/1	2	1/1
	$VF_{MC1802,4}^t(17)$	1	6	2	1	9	1	0/0	0	1/1
	$VF_{MC1802,5}^t(18)$	1	6	1	3	8,5	1	24/1	2	1/1
	$VF_{MC1802,6}^t(19)$	1	6	1	1	3	1	0/0	0	1/1
	$VF_{MC1802,7}^t(20)$	1	6	1	3	4	1	26/1	1	1/1
	$VF_{MC603,1}^t(21)$	3	7	2	1	10,5	1	0/0	0	8/1
	$VF_{MC603,2}^t(22)$	3	7	1	3	9	1	0/0	0	8/1
	$VF_{MC603,3}^t(23)$	3	7	1	3	8	1	0/0	0	8/1
	$VF_{MC603,4}^t(24)$	3	7	1	1	5	1	0/0	0	8/1
	$VF_{MC603,5}^t(25)$	3	7	1	3	7	1	0/0	0	8/1
	$VF_{PT3,1}^t(26)$	2	8	2	1	6	2,5	0/0	0	15/1
	$VF_{PT3,2}^t(27)$	2	8	1	2	3	2,5	0/0	0	15/1
	$VF_{MC1803,1}^t(28)$	1	9	3	1	18	1,25	0/0	0	15/1
	$VF_{MC1803,2}^t(29)$	1	9	1	3	15	1,25	0/0	0	15/1
	$VF_{MC1803,3}^t(30)$	1	9	1	3	10	1,25	0/0	0	15/1
	$VF_{MP1,1}^t(31)$	1	10	1	2	7	1	8/1	2	1/1
	$VF_{MP2,1}^t(32)$	3	11	3	1	16,5	1,25	0/0	0	1/1
	$VF_{MP2,2}^t(33)$	3	11	1	3	11	1,25	16/1	2	1/1
	$VF_{MP2,3}^t(34)$	3	11	1	3	9,5	1,25	19/1	1	1/1
	$VF_{MP3,1}^t(35)$	1	12	2	1	16	0,75	0/0	0	22/1
	$VF_{MP3,2}^t(36)$	1	12	1	3	14	0,75	0/0	0	22/1
	$VF_{MP3,3}^t(37)$	1	12	2	1	14	0,75	0/0	0	22/1
	$VF_{MP3,4}^t(38)$	1	12	1	3	14	0,75	0/0	0	22/1
	$VF_{MC604,1}^t(39)$	2	13	2	1	9	2	0/0	0	22/1
	$VF_{MC604,2}^t(40)$	2	13	1	2	5	2	0/0	0	22/1

$VF_{MC1804,1}^t$ (41)	=	3	14	1	1	7	0,75	0/0	0	5/2
$VF_{MC1804,2}^t$ (42)		3	14	1	3	9	0,75	0/0	0	5/2
$VF_{MC605,1}^t$ (43)		4	15	3	1	20	1,25	0/0	0	5/2
$VF_{MC605,2}^t$ (44)		4	15	1	3	8	1,25	0/0	0	5/2
$VF_{MC605,3}^t$ (45)		4	15	1	1	6,5	1,25	0/0	0	5/2
$VF_{MC605,4}^t$ (46)		4	15	1	2	5	1,25	0/0	0	5/2
$VF_{MC605,5}^t$ (47)		4	15	1	1	4,5	1,25	0/0	0	5/2
$VF_{MC605,6}^t$ (48)		4	15	1	2	3,5	1,25	0/0	0	5/2
$VF_{A1,1}^t$ (49)		2	16	3	2	29	1,5	0/0	0	22/1
$VF_{A1,2}^t$ (50)		2	16	1	2	15	1,5	0/0	0	22/1
$VF_{A1,3}^t$ (51)		2	16	1	2	10	1,5	0/0	0	22/1
$VF_{A1,4}^t$ (52)		2	16	2	2	17	1,5	0/0	0	22/1
$VF_{A1,5}^t$ (53)		2	16	1	2	7	1,5	0/0	0	22/1
$VF_{A1,6}^t$ (54)		2	16	2	3	35	1,5	0/0	0	22/1
$VF_{A1,7}^t$ (55)		2	16	1	3	12	1,5	0/0	0	22/1
$VF_{A1,8}^t$ (56)		2	16	1	2	15	1,5	0/0	0	22/1
$VF_{A1,9}^t$ (57)		2	16	1	3	10	1,5	0/0	0	22/1
$VF_{A1,10}^t$ (58)		2	16	1	2	14	1,5	0/0	0	22/1
$VF_{A1,11}^t$ (59)		2	16	1	3	12	1,5	0/0	0	22/1

**A 2.5 MATRIZ  $MP(z,x)$  RESULTANTE DA EXECUÇÃO DOS PASSOS DA DIVISÃO DA CAPACIDADE DEMANDADA PELOS SERVIÇOS ENTRE OS FUNCIONÁRIOS E DIVISÃO DAS FASES EM ETAPAS APRESENTADOS NA SEÇÃO 3.3.2**

$MF(z,x) =$	$i$	$r$	$ip$	$f$	$e$	$yd$	$Cd$	$dm$	$tu$	$dcm$	$al$	$dc$
	PT2	4	1	1	1	1	8,8	0/0	0	1/1	0	1/1
	PT2	4	1	1	2	1	7,2	0/0	0	1/1	0	1/1
	PT2	4	1	2	1	1	5,67	6/1	2	1/1	0	6/1
	PT2	4	1	2	1	2	5,67	6/1	2	1/1	0	6/1
	PT2	4	1	2	1	3	5,67	6/1	2	1/1	0	6/1
	PT2	4	1	3	1	1	5,00	0/0	0	1/1	0	7/1
	MC601	1	2	1	1	1	9,50	0/0	0	1/1	0	1/1
	MC601	1	2	2	1	1	4,50	4/1	2	1/1	0	4/1
	MC601	1	2	2	1	2	4,50	4/1	2	1/1	0	4/1
	MC601	1	2	2	1	3	4,50	4/1	2	1/1	0	4/1
	MC1801	3	3	1	1	1	9,00	0/0	0	1/1	0	1/1
	MC1801	3	3	2	1	1	4,33	3/1	1	1/1	0	3/1
	MC1801	3	3	2	1	2	4,33	3/1	1	1/1	0	3/1
	MC1801	3	3	2	1	3	4,33	3/1	1	1/1	0	3/1
	PT1	1	4	1	1	1	7,00	0/0	0	1/1	0	1/1
	PT1	1	4	2	1	1	3,33	10/1	1	1/1	0	10/1
	PT1	1	4	2	1	2	3,33	10/1	1	1/1	0	10/1
	PT1	1	4	2	1	3	3,33	10/1	1	1/1	0	10/1

MC602	1	5	1	1	1	8,8	0/0	0	8/1	0	8/1
MC602	1	5	1	2	1	8,20	0/0	0	8/1	0	8/1
MC602	1	5	2	1	1	4,83	12/1	1	8/1	0	12/1
MC602	1	5	2	1	2	4,83	12/1	1	8/1	0	12/1
MC602	1	5	2	1	3	4,83	12/1	1	8/1	0	12/1
MC602	1	5	3	1	1	4,50	0/0	0	8/1	0	12/1
MC602	1	5	4	1	1	4,00	18/1	1	8/1	0	18/1
MC602	1	5	4	1	2	4,00	18/1	1	8/1	0	18/1
MC1802	1	6	1	1	1	8,8	0/0	0	1/1	0	1/1
MC1802	1	6	1	2	1	8,8	0/0	0	1/1	0	1/1
MC1802	1	6	1	3	1	5,40	0/0	0	1/1	0	1/1
MC1802	1	6	2	1	1	6,33	11/1	1	1/1	0	11/1
MC1802	1	6	2	1	2	6,33	11/1	1	1/1	0	11/1
MC1802	1	6	2	1	3	6,33	11/1	1	1/1	0	11/1
MC1802	1	6	3	1	1	5,33	17/1	2	1/1	0	17/1
MC1802	1	6	3	1	2	5,33	17/1	2	1/1	0	17/1
MC1802	1	6	3	1	3	5,33	17/1	2	1/1	0	17/1
MC1802	1	6	4	1	1	8,8	0/0	0	1/1	0	18/1
MC1802	1	6	4	2	1	4,20	0/0	0	1/1	0	18/1
MC1802	1	6	5	1	1	4,83	24/1	2	1/1	0	24/1
MC1802	1	6	5	1	2	4,83	24/1	2	1/1	0	24/1
MC1802	1	6	5	1	3	4,83	24/1	2	1/1	0	24/1
MC1802	1	6	6	1	1	5,00	0/0	0	1/1	0	25/1
MC1802	1	6	7	1	1	3,33	26/1	1	1/1	0	26/1
MC1802	1	6	7	1	2	3,33	26/1	1	1/1	0	26/1
MC1802	1	6	7	1	3	3,33	26/1	1	1/1	0	26/1
MC603	3	7	1	1	1	8,8	0/0	0	8/1	0	8/1
MC603	3	7	1	2	1	5,70	0/0	0	8/1	0	8/1
MC603	3	7	2	1	1	5,00	0/0	0	8/1	0	8/1
MC603	3	7	2	1	2	5,00	0/0	0	8/1	0	8/1
MC603	3	7	2	1	3	5,00	0/0	0	8/1	0	8/1
MC603	3	7	3	1	1	4,67	0/0	0	8/1	0	8/1
MC603	3	7	3	1	2	4,67	0/0	0	8/1	0	8/1
MC603	3	7	3	1	3	4,67	0/0	0	8/1	0	8/1
MC603	3	7	4	1	1	7,00	0/0	0	8/1	0	8/1
MC603	3	7	5	1	1	4,33	0/0	0	8/1	0	8/1
MC603	3	7	5	1	2	4,33	0/0	0	8/1	0	8/1
MC603	3	7	5	1	3	4,33	0/0	0	8/1	0	8/1
PT3	2	8	1	1	1	8,8	0/0	0	15/1	0	15/1
PT3	2	8	1	2	1	7,20	0/0	0	15/1	0	15/1
PT3	2	8	2	1	1	6,50	0/0	0	15/1	0	15/1
PT3	2	8	2	1	2	6,50	0/0	0	15/1	0	15/1
MC1803	1	9	1	1	1	8,8	0/0	0	15/1	0	15/1
MC1803	1	9	1	2	1	8,8	0/0	0	15/1	0	15/1
MC1803	1	9	1	3	1	7,90	0/0	0	15/1	0	15/1
MC1803	1	9	2	1	1	7,50	0/0	0	15/1	0	15/1
MC1803	1	9	2	1	2	7,50	0/0	0	15/1	0	15/1
MC1803	1	9	2	1	3	7,50	0/0	0	15/1	0	15/1
MC1803	1	9	3	1	1	5,83	0/0	0	15/1	0	15/1
MC1803	1	9	3	1	2	5,83	0/0	0	15/1	0	15/1
MC1803	1	9	3	1	3	5,83	0/0	0	15/1	0	15/1
MP1	1	10	1	1	1	5,50	8/1	2	1/1	0	8/1
MP1	1	10	1	1	2	5,50	8/1	2	1/1	0	8/1

MP2	3	11	1	1	1	8,8	0/0	0	1/1	0	1/1
MP2	3	11	1	2	1	8,8	0/0	0	1/1	0	1/1
MP2	3	11	1	3	1	6,40	0/0	0	1/1	0	1/1
MP2	3	11	2	1	1	6,17	16/1	2	1/1	0	16/1
MP2	3	11	2	1	2	6,17	16/1	2	1/1	0	16/1
MP2	3	11	2	1	3	6,17	16/1	2	1/1	0	16/1
MP2	3	11	3	1	1	5,67	19/1	1	1/1	0	19/1
MP2	3	11	3	1	2	5,67	19/1	1	1/1	0	19/1
MP2	3	11	3	1	3	5,67	19/1	1	1/1	0	19/1
MP3	1	12	1	1	1	8,8	0/0	0	22/1	0	22/1
MP3	1	12	1	2	1	10,20	0/0	0	22/1	0	22/1
MP3	1	12	2	1	1	6,17	0/0	0	22/1	0	22/1
MP3	1	12	2	1	2	6,17	0/0	0	22/1	0	22/1
MP3	1	12	2	1	3	6,17	0/0	0	22/1	0	22/1
MP3	1	12	3	1	1	8,8	0/0	0	22/1	0	22/1
MP3	1	12	3	2	1	8,20	0/0	0	22/1	0	22/1
MP3	1	12	4	1	1	6,17	0/0	0	22/1	0	22/1
MP3	1	12	4	1	2	6,17	0/0	0	22/1	0	22/1
MP3	1	12	4	1	3	6,17	0/0	0	22/1	0	22/1
MC604	2	13	1	1	1	8,8	0/0	0	22/1	0	22/1
MC604	2	13	1	2	1	8,20	0/0	0	22/1	0	22/1
MC604	2	13	2	1	1	6,50	0/0	0	22/1	0	22/1
MC604	2	13	2	1	2	6,50	0/0	0	22/1	0	22/1
MC1804	3	14	1	1	1	8,50	0/0	0	5/2	0	5/2
MC1804	3	14	2	1	1	4,5	0/0	0	5/2	0	5/2
MC1804	3	14	2	1	2	4,5	0/0	0	5/2	0	5/2
MC1804	3	14	2	1	3	4,5	0/0	0	5/2	0	5/2
MC605	4	15	1	1	1	8,8	0/0	0	5/2	0	5/2
MC605	4	15	1	2	1	8,8	0/0	0	5/2	0	5/2
MC605	4	15	1	3	1	9,90	0/0	0	5/2	0	5/2
MC605	4	15	2	1	1	5,17	0/0	0	5/2	0	5/2
MC605	4	15	2	1	2	5,17	0/0	0	5/2	0	5/2
MC605	4	15	2	1	3	5,17	0/0	0	5/2	0	5/2
MC605	4	15	3	1	1	9,00	0/0	0	5/2	0	5/2
MC605	4	15	4	1	1	5,00	0/0	0	5/2	0	5/2
MC605	4	15	4	1	2	5,00	0/0	0	5/2	0	5/2
MC605	4	15	5	1	1	7,00	0/0	0	5/2	0	5/2
MC605	4	15	6	1	1	4,25	0/0	0	5/2	0	5/2
MC605	4	15	6	1	2	4,25	0/0	0	5/2	0	5/2
A1	2	16	1	1	1	8,8	0/0	0	22/1	0	22/1
A1	2	16	1	1	2	8,8	0/0	0	22/1	0	22/1
A1	2	16	1	2	1	8,8	0/0	0	22/1	0	22/1
A1	2	16	1	2	2	8,8	0/0	0	22/1	0	22/1
A1	2	16	1	3	1	5,90	0/0	0	22/1	0	22/1
A1	2	16	1	3	2	5,90	0/0	0	22/1	0	22/1
A1	2	16	2	1	1	10,50	0/0	0	22/1	0	22/1
A1	2	16	2	1	2	10,50	0/0	0	22/1	0	22/1
A1	2	16	3	1	1	8,00	0/0	0	22/1	0	22/1
A1	2	16	3	1	2	8,00	0/0	0	22/1	0	22/1
A1	2	16	4	1	1	8,80	0/0	0	22/1	0	22/1
A1	2	16	4	1	2	8,80	0/0	0	22/1	0	22/1

A1	2	16	4	2	1	5,70	0/0	0	22/1	0	22/1
A1	2	16	4	2	2	5,70	0/0	0	22/1	0	22/1
A1	2	16	5	1	1	6,50	0/0	0	22/1	0	22/1
A1	2	16	5	1	2	6,50	0/0	0	22/1	0	22/1
A1	2	16	6	1	1	8,80	0/0	0	22/1	0	22/1
A1	2	16	6	1	2	8,80	0/0	0	22/1	0	22/1
A1	2	16	6	1	3	8,80	0/0	0	22/1	0	22/1
A1	2	16	6	2	1	8,87	0/0	0	22/1	0	22/1
A1	2	16	6	2	2	8,87	0/0	0	22/1	0	22/1
A1	2	16	6	2	3	8,87	0/0	0	22/1	0	22/1
A1	2	16	7	1	1	7,00	0/0	0	22/1	0	22/1
A1	2	16	7	1	2	7,00	0/0	0	22/1	0	22/1
A1	2	16	7	1	3	7,00	0/0	0	22/1	0	22/1
A1	2	16	8	1	1	10,50	0/0	0	22/1	0	22/1
A1	2	16	8	1	2	10,50	0/0	0	22/1	0	22/1
A1	2	16	9	1	1	6,33	0/0	0	22/1	0	22/1
A1	2	16	9	1	2	6,33	0/0	0	22/1	0	22/1
A1	2	16	9	1	3	6,33	0/0	0	22/1	0	22/1
A1	2	16	10	1	1	10,00	0/0	0	22/1	0	22/1
A1	2	16	10	1	2	10,00	0/0	0	22/1	0	22/1
A1	2	16	11	1	1	7,00	0/0	0	22/1	0	22/1
A1	2	16	11	1	2	7,00	0/0	0	22/1	0	22/1
A1	2	16	11	1	3	7,00	0/0	0	22/1	0	22/1

**A 2.6 CAPACIDADE A SER ALOCADA EM CADA GRUPO DE SEMANA  $s$  ( $C_{g_s}$ )  
CALCULADA CONFORME PASSOS 1-5 DA SEÇÃO 3.3.3.**

período $p$	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
semana $s$	1	2	3	4	5		6	7	8	9
$C_{sp}$	105,6	132	132	132	79,2	52,8	132	132	132	26,4
$C_p$	580,8	580,8	580,8	580,8	580,8	475,2	475,2	475,2	475,2	475,2
$Cd_p$	490,8	490,8	490,8	490,8	490,8	465,7	465,7	465,7	465,7	465,7
<b><math>Cg_s</math></b>	<b>89,2</b>	<b>111,5</b>	<b>111,5</b>	<b>111,5</b>	<b>118,7</b>		<b>129,4</b>	<b>129,4</b>	<b>129,4</b>	<b>25,9</b>

**A 2.7 MATRIZES  $MP_s(h,x)$  RESULTANTES DA EXECUÇÃO DOS PASSOS 6-21  
DA SEÇÃO 3.3.3**

**$MF_1(h,x) =$**

<b><i>h</i></b>	<b><i>i</i></b>	<b><i>r</i></b>	<b><i>ip</i></b>	<b><i>f</i></b>	<b><i>e</i></b>	<b><i>yd</i></b>	<b><i>Cd</i></b>	<b><i>dm</i></b>	<b><i>tu</i></b>	<b><i>dcm</i></b>	<b><i>al</i></b>	<b><i>dc</i></b>
1	PT2	4	1	1	1	1	8,8	0/0	0	1/1	0	1/1
2	PT2	4	1	1	2	1	7,2	0/0	0	1/1	0	1/1
3	PT2	4	1	2	1	1	5,67	6/1	2	1/1	0	6/1
4	PT2	4	1	2	1	2	5,67	6/1	2	1/1	0	6/1
5	PT2	4	1	2	1	3	5,67	6/1	2	1/1	0	6/1
6	MC601	1	2	1	1	1	9,50	0/0	0	1/1	0	1/1
7	MC601	1	2	2	1	1	4,50	4/1	2	1/1	0	4/1
8	MC601	1	2	2	1	2	4,50	4/1	2	1/1	0	4/1
9	MC601	1	2	2	1	3	4,50	4/1	2	1/1	0	4/1
10	MC1801	3	3	1	1	1	9,00	0/0	0	1/1	0	1/1
11	MC1801	3	3	2	1	1	4,33	3/1	1	1/1	0	3/1
12	MC1801	3	3	2	1	2	4,33	3/1	1	1/1	0	3/1
13	MC1801	3	3	2	1	3	4,33	3/1	1	1/1	0	3/1

**$MF_2(h,x) =$**

<b><i>h</i></b>	<b><i>i</i></b>	<b><i>r</i></b>	<b><i>ip</i></b>	<b><i>f</i></b>	<b><i>e</i></b>	<b><i>yd</i></b>	<b><i>Cd</i></b>	<b><i>dm</i></b>	<b><i>tu</i></b>	<b><i>dcm</i></b>	<b><i>al</i></b>	<b><i>dc</i></b>
1	PT1	1	4	1	1	1	7,00	0/0	0	1/1	0	1/1
2	PT1	1	4	2	1	1	3,33	10/1	1	1/1	0	10/1
3	PT1	1	4	2	1	2	3,33	10/1	1	1/1	0	10/1
4	PT1	1	4	2	1	3	3,33	10/1	1	1/1	0	10/1
5	MC602	1	5	1	1	1	8,8	0/0	0	8/1	0	8/1
6	MC602	1	5	1	2	1	8,20	0/0	0	8/1	0	8/1
7	MC602	1	5	2	1	1	4,83	12/1	1	8/1	0	12/1
8	MC602	1	5	2	1	2	4,83	12/1	1	8/1	0	12/1
9	MC602	1	5	2	1	3	4,83	12/1	1	8/1	0	12/1
10	MC1802	1	6	1	1	1	8,8	0/0	0	1/1	0	1/1
11	MC1802	1	6	1	2	1	8,8	0/0	0	1/1	0	1/1
12	MC1802	1	6	1	3	1	5,40	0/0	0	1/1	0	1/1
13	MC1802	1	6	2	1	1	6,33	11/1	1	1/1	0	11/1
14	MC1802	1	6	2	1	2	6,33	11/1	1	1/1	0	11/1
15	MC1802	1	6	2	1	3	6,33	11/1	1	1/1	0	11/1
16	MP1	1	10	1	1	1	5,50	8/1	2	1/1	0	8/1
17	MP1	1	10	1	1	2	5,50	8/1	2	1/1	0	8/1
18	PT2	4	1	3	1	1	5,00	0/0	0	1/1	1	7/1
19	MC603	3	7	1	1	1	8,8	0/0	0	8/1	1	8/1
20	MC603	3	7	1	2	1	5,70	0/0	0	8/1	1	8/1

$MF_3(h,x) =$	<i>h</i>	<i>i</i>	<i>r</i>	<i>ip</i>	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>yd</i>	<i>Cd</i>	<i>dm</i>	<i>tu</i>	<i>dcm</i>	<i>al</i>	<i>dc</i>
	1	MC602	1	5	3	1	1	4,50	0/0	0	8/1	0	12/1
	2	MC602	1	5	4	1	1	4,00	18/1	1	8/1	0	18/1
	3	MC602	1	5	4	1	2	4,00	18/1	1	8/1	0	18/1
	4	MC1802	1	6	3	1	1	5,33	17/1	2	1/1	0	17/1
	5	MC1802	1	6	3	1	2	5,33	17/1	2	1/1	0	17/1
	6	MC1802	1	6	3	1	3	5,33	17/1	2	1/1	0	17/1
	7	MP2	3	11	1	1	1	8,8	0/0	0	1/1	0	1/1
	8	MP2	3	11	1	2	1	8,8	0/0	0	1/1	0	1/1
	9	MP2	3	11	1	3	1	6,40	0/0	0	1/1	0	1/1
	10	MP2	3	11	2	1	1	6,17	16/1	2	1/1	0	16/1
	11	MP2	3	11	2	1	2	6,17	16/1	2	1/1	0	16/1
	12	MP2	3	11	2	1	3	6,17	16/1	2	1/1	0	16/1
	13	MP2	3	11	3	1	1	5,67	19/1	1	1/1	0	19/1
	14	MP2	3	11	3	1	2	5,67	19/1	1	1/1	0	19/1
	15	MP2	3	11	3	1	3	5,67	19/1	1	1/1	0	19/1
	16	MC603	3	7	2	1	1	5,00	0/0	0	8/1	1	8/1
	17	MC603	3	7	2	1	2	5,00	0/0	0	8/1	1	8/1
	18	MC603	3	7	2	1	3	5,00	0/0	0	8/1	1	8/1
	19	MC603	3	7	3	1	1	4,67	0/0	0	8/1	1	8/1
	20	MC603	3	7	3	1	2	4,67	0/0	0	8/1	1	8/1
	21	MC603	3	7	3	1	3	4,67	0/0	0	8/1	1	8/1

$MF_4(h,x) =$	<i>h</i>	<i>i</i>	<i>r</i>	<i>ip</i>	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>yd</i>	<i>Cd</i>	<i>dm</i>	<i>tu</i>	<i>dcm</i>	<i>al</i>	<i>dc</i>
	1	MC1802	1	6	4	1	1	8,8	0/0	0	1/1	0	18/1
	2	MC1802	1	6	4	2	1	4,20	0/0	0	1/1	0	18/1
	3	MC1802	1	6	5	1	1	4,83	24/1	2	1/1	0	24/1
	4	MC1802	1	6	5	1	2	4,83	24/1	2	1/1	0	24/1
	5	MC1802	1	6	5	1	3	4,83	24/1	2	1/1	0	24/1
	6	MC1802	1	6	6	1	1	5,00	0/0	0	1/1	0	25/1
	7	MC1802	1	6	7	1	1	3,33	26/1	1	1/1	0	26/1
	8	MC1802	1	6	7	1	2	3,33	26/1	1	1/1	0	26/1
	9	MC1802	1	6	7	1	3	3,33	26/1	1	1/1	0	26/1
	10	MC603	3	7	4	1	1	7,00	0/0	0	8/1	1	8/1
	11	MC603	3	7	5	1	1	4,33	0/0	0	8/1	1	8/1
	12	MC603	3	7	5	1	2	4,33	0/0	0	8/1	1	8/1
	13	MC603	3	7	5	1	3	4,33	0/0	0	8/1	1	8/1
	14	PT3	2	8	1	1	1	8,8	0/0	0	15/1	1	15/1
	15	PT3	2	8	1	2	1	7,20	0/0	0	15/1	1	15/1
	16	PT3	2	8	2	1	1	6,50	0/0	0	15/1	1	15/1
	17	PT3	2	8	2	1	2	6,50	0/0	0	15/1	1	15/1
	18	MC1803	1	9	1	1	1	8,8	0/0	0	15/1	1	15/1
	19	MC1803	1	9	1	2	1	8,8	0/0	0	15/1	1	15/1
	20	MC1803	1	9	1	3	1	7,90	0/0	0	15/1	1	15/1

$MF_5(h,x) =$	$h$	$i$	$r$	$ip$	$f$	$e$	$yd$	$Cd$	$dm$	$tu$	$dcm$	$al$	$dc$
	1	MC1803	1	9	2	1	1	7,50	0/0	0	15/1	1	15/1
	2	MC1803	1	9	2	1	2	7,50	0/0	0	15/1	1	15/1
	3	MC1803	1	9	2	1	3	7,50	0/0	0	15/1	1	15/1
	4	MC1803	1	9	3	1	1	5,83	0/0	0	15/1	1	15/1
	5	MC1803	1	9	3	1	2	5,83	0/0	0	15/1	1	15/1
	6	MC1803	1	9	3	1	3	5,83	0/0	0	15/1	1	15/1
	7	MP3	1	12	1	1	1	8,8	0/0	0	22/1	1	22/1
	8	MP3	1	12	1	2	1	10,20	0/0	0	22/1	1	22/1
	9	MP3	1	12	2	1	1	6,17	0/0	0	22/1	1	22/1
	10	MP3	1	12	2	1	2	6,17	0/0	0	22/1	1	22/1
	11	MP3	1	12	2	1	3	6,17	0/0	0	22/1	1	22/1
	12	MP3	1	12	3	1	1	8,8	0/0	0	22/1	1	22/1
	13	MP3	1	12	3	2	1	8,20	0/0	0	22/1	1	22/1
	14	MP3	1	12	4	1	1	6,17	0/0	0	22/1	1	22/1
	15	MP3	1	12	4	1	2	6,17	0/0	0	22/1	1	22/1
	16	MP3	1	12	4	1	3	6,17	0/0	0	22/1	1	22/1
	17	MC604	2	13	1	1	1	8,8	0/0	0	22/1	1	22/1
	18	MC604	2	13	1	2	1	8,20	0/0	0	22/1	1	22/1

$MF_6(h,x) =$	$h$	$i$	$r$	$ip$	$f$	$e$	$yd$	$Cd$	$dm$	$tu$	$dcm$	$al$	$dc$
	1	MC604	2	13	2	1	1	6,50	0/0	0	22/1	1	22/1
	2	MC604	2	13	2	1	2	6,50	0/0	0	22/1	1	22/1
	3	MC1804	3	14	1	1	1	8,50	0/0	0	5/2	1	5/2
	4	MC1804	3	14	2	1	1	4,5	0/0	0	5/2	1	5/2
	5	MC1804	3	14	2	1	2	4,5	0/0	0	5/2	1	5/2
	6	MC1804	3	14	2	1	3	4,5	0/0	0	5/2	1	5/2
	7	MC605	4	15	1	1	1	8,8	0/0	0	5/2	1	5/2
	8	MC605	4	15	1	2	1	8,8	0/0	0	5/2	1	5/2
	9	MC605	4	15	1	3	1	9,90	0/0	0	5/2	1	5/2
	10	MC605	4	15	2	1	1	5,17	0/0	0	5/2	1	5/2
	11	MC605	4	15	2	1	2	5,17	0/0	0	5/2	1	5/2
	12	MC605	4	15	2	1	3	5,17	0/0	0	5/2	1	5/2
	13	MC605	4	15	3	1	1	9,00	0/0	0	5/2	1	5/2
	14	MC605	4	15	4	1	1	5,00	0/0	0	5/2	1	5/2
	15	MC605	4	15	4	1	2	5,00	0/0	0	5/2	1	5/2
	16	MC605	4	15	5	1	1	7,00	0/0	0	5/2	1	5/2
	17	MC605	4	15	6	1	1	4,25	0/0	0	5/2	1	5/2
	18	MC605	4	15	6	1	2	4,25	0/0	0	5/2	1	5/2
	19	A1	2	16	1	1	1	8,8	0/0	0	22/1	0	22/1
	20	A1	2	16	1	1	2	8,8	0/0	0	22/1	0	22/1
	21	A1	2	16	1	2	1	8,8	0/0	0	22/1	0	22/1
	22	A1	2	16	1	2	2	8,8	0/0	0	22/1	0	22/1
	23	A1	2	16	1	3	1	5,90	0/0	0	22/1	0	22/1
	24	A1	2	16	1	3	2	5,90	0/0	0	22/1	0	22/1

$MF_7(h,x) =$	$h$	$i$	$r$	$ip$	$f$	$e$	$yd$	$Cd$	$dm$	$tu$	$dcm$	$al$	$dc$
	1	A1	2	16	2	1	1	10,50	0/0	0	22/1	0	22/1
	2	A1	2	16	2	1	2	10,50	0/0	0	22/1	0	22/1
	3	A1	2	16	3	1	1	8,00	0/0	0	22/1	0	22/1
	4	A1	2	16	3	1	2	8,00	0/0	0	22/1	0	22/1
	5	A1	2	16	4	1	1	8,80	0/0	0	22/1	0	22/1
	6	A1	2	16	4	1	2	8,80	0/0	0	22/1	0	22/1
	7	A1	2	16	4	2	1	5,70	0/0	0	22/1	0	22/1
	8	A1	2	16	4	2	2	5,70	0/0	0	22/1	0	22/1
	9	A1	2	16	5	1	1	6,50	0/0	0	22/1	0	22/1
	10	A1	2	16	5	1	2	6,50	0/0	0	22/1	0	22/1
	11	A1	2	16	6	1	1	8,80	0/0	0	22/1	0	22/1
	12	A1	2	16	6	1	2	8,80	0/0	0	22/1	0	22/1
	13	A1	2	16	6	1	3	8,80	0/0	0	22/1	0	22/1
	14	A1	2	16	6	2	1	8,87	0/0	0	22/1	0	22/1
	15	A1	2	16	6	2	2	8,87	0/0	0	22/1	0	22/1
	16	A1	2	16	6	2	3	8,87	0/0	0	22/1	0	22/1

$MF_8(h,x) =$	$h$	$i$	$r$	$ip$	$f$	$e$	$yd$	$Cd$	$dm$	$tu$	$dcm$	$al$	$dc$
	1	A1	2	16	7	1	1	7,00	0/0	0	22/1	0	22/1
	2	A1	2	16	7	1	2	7,00	0/0	0	22/1	0	22/1
	3	A1	2	16	7	1	3	7,00	0/0	0	22/1	0	22/1
	4	A1	2	16	8	1	1	10,50	0/0	0	22/1	0	22/1
	5	A1	2	16	8	1	2	10,50	0/0	0	22/1	0	22/1
	6	A1	2	16	9	1	1	6,33	0/0	0	22/1	0	22/1
	7	A1	2	16	9	1	2	6,33	0/0	0	22/1	0	22/1
	8	A1	2	16	9	1	3	6,33	0/0	0	22/1	0	22/1
	9	A1	2	16	10	1	1	10,00	0/0	0	22/1	0	22/1
	10	A1	2	16	10	1	2	10,00	0/0	0	22/1	0	22/1
	11	A1	2	16	11	1	1	7,00	0/0	0	22/1	0	22/1
	12	A1	2	16	11	1	2	7,00	0/0	0	22/1	0	22/1
	13	A1	2	16	11	1	3	7,00	0/0	0	22/1	0	22/1

## A 2.8 MATRIZES $MP_{rs}(v,x)$ RESULTANTES DA EXECUÇÃO DOS PASSOS 22-26 DA SEÇÃO 3.3.3

$MF_{rs}(v,x)$	$v$	$i$	$r$	$ip$	$f$	$e$	$yd$	$Cd$	$dm$	$tu$	$dcm$	$al$	$dc$
$MF_{11}(v,x) =$	1	MC601	1	2	1	1	1	9,50	0/0	0	1/1	0	1/1
	2	MC601	1	2	2	1	1	4,50	4/1	2	1/1	0	4/1
	3	MC601	1	2	2	1	2	4,50	4/1	2	1/1	0	4/1
	4	MC601	1	2	2	1	3	4,50	4/1	2	1/1	0	4/1
$MF_{31}(v,x) =$	1	MC1801	3	3	1	1	1	9,00	0/0	0	1/1	0	1/1
	2	MC1801	3	3	2	1	1	4,33	3/1	1	1/1	0	3/1
	3	MC1801	3	3	2	1	2	4,33	3/1	1	1/1	0	3/1
	4	MC1801	3	3	2	1	3	4,33	3/1	1	1/1	0	3/1

<b><math>MF_{41}(v,x) =</math></b>	<b>1</b>	PT2	4	1	1	1	1	8,8	0/0	0	1/1	0	1/1
	<b>2</b>	PT2	4	1	1	2	1	7,2	0/0	0	1/1	0	1/1
	<b>3</b>	PT2	4	1	2	1	1	5,67	6/1	2	1/1	0	6/1
	<b>4</b>	PT2	4	1	2	1	2	5,67	6/1	2	1/1	0	6/1
	<b>5</b>	PT2	4	1	2	1	3	5,67	6/1	2	1/1	0	6/1

<b><math>MF_{12}(v,x) =</math></b>	<b>1</b>	PT1	1	4	1	1	1	7,00	0/0	0	1/1	0	1/1
	<b>2</b>	PT1	1	4	2	1	1	3,33	10/1	1	1/1	0	10/1
	<b>3</b>	PT1	1	4	2	1	2	3,33	10/1	1	1/1	0	10/1
	<b>4</b>	PT1	1	4	2	1	3	3,33	10/1	1	1/1	0	10/1
	<b>5</b>	MC602	1	5	1	1	1	8,8	0/0	0	8/1	0	8/1
	<b>6</b>	MC602	1	5	1	2	1	8,20	0/0	0	8/1	0	8/1
	<b>7</b>	MC602	1	5	2	1	1	4,83	12/1	1	8/1	0	12/1
	<b>8</b>	MC602	1	5	2	1	2	4,83	12/1	1	8/1	0	12/1
	<b>9</b>	MC602	1	5	2	1	3	4,83	12/1	1	8/1	0	12/1
	<b>10</b>	MC1802	1	6	1	1	1	8,8	0/0	0	1/1	0	1/1
	<b>11</b>	MC1802	1	6	1	2	1	8,8	0/0	0	1/1	0	1/1
	<b>12</b>	MC1802	1	6	1	3	1	5,40	0/0	0	1/1	0	1/1
	<b>13</b>	MC1802	1	6	2	1	1	6,33	11/1	1	1/1	0	11/1
	<b>14</b>	MC1802	1	6	2	1	2	6,33	11/1	1	1/1	0	11/1
	<b>15</b>	MC1802	1	6	2	1	3	6,33	11/1	1	1/1	0	11/1
	<b>16</b>	MP1	1	10	1	1	1	5,50	8/1	2	1/1	0	8/1
	<b>17</b>	MP1	1	10	1	1	2	5,50	8/1	2	1/1	0	8/1

<b><math>MF_{32}(v,x) =</math></b>	<b>1</b>	MC603	3	7	1	1	1	8,8	0/0	0	8/1	1	8/1
	<b>2</b>	MC603	3	7	1	2	1	5,70	0/0	0	8/1	1	8/1

<b><math>MF_{42}(v,x) =</math></b>	<b>1</b>	PT2	4	1	3	1	1	5,00	0/0	0	1/1	1	7/1
------------------------------------	----------	-----	---	---	---	---	---	------	-----	---	-----	---	-----

<b><math>MF_{13}(v,x) =</math></b>	<b>1</b>	MC602	1	5	3	1	1	4,50	0/0	0	8/1	0	12/1
	<b>2</b>	MC602	1	5	4	1	1	4,00	18/1	1	8/1	0	18/1
	<b>3</b>	MC602	1	5	4	1	2	4,00	18/1	1	8/1	0	18/1
	<b>4</b>	MC1802	1	6	3	1	1	5,33	17/1	2	1/1	0	17/1
	<b>5</b>	MC1802	1	6	3	1	2	5,33	17/1	2	1/1	0	17/1
	<b>6</b>	MC1802	1	6	3	1	3	5,33	17/1	2	1/1	0	17/1

<b><math>MF_{33}(v,x) =</math></b>	1	MP2	3	11	1	1	1	8,8	0/0	0	1/1	0	1/1
	2	MP2	3	11	1	2	1	8,8	0/0	0	1/1	0	1/1
	3	MP2	3	11	1	3	1	6,40	0/0	0	1/1	0	1/1
	4	MP2	3	11	2	1	1	6,17	16/1	2	1/1	0	16/1
	5	MP2	3	11	2	1	2	6,17	16/1	2	1/1	0	16/1
	6	MP2	3	11	2	1	3	6,17	16/1	2	1/1	0	16/1
	7	MP2	3	11	3	1	1	5,67	19/1	1	1/1	0	19/1
	8	MP2	3	11	3	1	2	5,67	19/1	1	1/1	0	19/1
	9	MP2	3	11	3	1	3	5,67	19/1	1	1/1	0	19/1
	10	MC603	3	7	2	1	1	5,00	0/0	0	8/1	1	8/1
	11	MC603	3	7	2	1	2	5,00	0/0	0	8/1	1	8/1
	12	MC603	3	7	2	1	3	5,00	0/0	0	8/1	1	8/1
	13	MC603	3	7	3	1	1	4,67	0/0	0	8/1	1	8/1
	14	MC603	3	7	3	1	2	4,67	0/0	0	8/1	1	8/1
	15	MC603	3	7	3	1	3	4,67	0/0	0	8/1	1	8/1

<b><math>MF_{14}(v,x) =</math></b>	1	MC1802	1	6	4	1	1	8,8	0/0	0	1/1	0	18/1
	2	MC1802	1	6	4	2	1	4,20	0/0	0	1/1	0	18/1
	3	MC1802	1	6	5	1	1	4,83	24/1	2	1/1	0	24/1
	4	MC1802	1	6	5	1	2	4,83	24/1	2	1/1	0	24/1
	5	MC1802	1	6	5	1	3	4,83	24/1	2	1/1	0	24/1
	6	MC1802	1	6	6	1	1	5,00	0/0	0	1/1	0	25/1
	7	MC1802	1	6	7	1	1	3,33	26/1	1	1/1	0	26/1
	8	MC1802	1	6	7	1	2	3,33	26/1	1	1/1	0	26/1
	9	MC1802	1	6	7	1	3	3,33	26/1	1	1/1	0	26/1
	10	MC1803	1	9	1	1	1	8,8	0/0	0	15/1	1	15/1
	11	MC1803	1	9	1	2	1	8,8	0/0	0	15/1	1	15/1
	12	MC1803	1	9	1	3	1	7,90	0/0	0	15/1	1	15/1

<b><math>MF_{24}(v,x) =</math></b>	1	PT3	2	8	1	1	1	8,8	0/0	0	15/1	1	15/1
	2	PT3	2	8	1	2	1	7,20	0/0	0	15/1	1	15/1
	3	PT3	2	8	2	1	1	6,50	0/0	0	15/1	1	15/1
	4	PT3	2	8	2	1	2	6,50	0/0	0	15/1	1	15/1

<b><math>MF_{34}(v,x) =</math></b>	1	MC603	3	7	4	1	1	7,00	0/0	0	8/1	1	8/1
	2	MC603	3	7	5	1	1	4,33	0/0	0	8/1	1	8/1
	3	MC603	3	7	5	1	2	4,33	0/0	0	8/1	1	8/1
	4	MC603	3	7	5	1	3	4,33	0/0	0	8/1	1	8/1

<b><math>MF_{15}(v,x) =</math></b>	1	MC1803	1	9	2	1	1	7,50	0/0	0	15/1	1	15/1
	2	MC1803	1	9	2	1	2	7,50	0/0	0	15/1	1	15/1
	3	MC1803	1	9	2	1	3	7,50	0/0	0	15/1	1	15/1
	4	MC1803	1	9	3	1	1	5,83	0/0	0	15/1	1	15/1
	5	MC1803	1	9	3	1	2	5,83	0/0	0	15/1	1	15/1
	6	MC1803	1	9	3	1	3	5,83	0/0	0	15/1	1	15/1
	7	MP3	1	12	1	1	1	8,8	0/0	0	22/1	1	22/1
	8	MP3	1	12	1	2	1	10,20	0/0	0	22/1	1	22/1
	9	MP3	1	12	2	1	1	6,17	0/0	0	22/1	1	22/1
	10	MP3	1	12	2	1	2	6,17	0/0	0	22/1	1	22/1
	11	MP3	1	12	2	1	3	6,17	0/0	0	22/1	1	22/1
	12	MP3	1	12	3	1	1	8,8	0/0	0	22/1	1	22/1
	13	MP3	1	12	3	2	1	8,20	0/0	0	22/1	1	22/1
	14	MP3	1	12	4	1	1	6,17	0/0	0	22/1	1	22/1
	15	MP3	1	12	4	1	2	6,17	0/0	0	22/1	1	22/1
	16	MP3	1	12	4	1	3	6,17	0/0	0	22/1	1	22/1

<b><math>MF_{25}(v,x) =</math></b>	1	MC604	2	13	1	1	1	8,8	0/0	0	22/1	1	22/1
	2	MC604	2	13	1	2	1	8,20	0/0	0	22/1	1	22/1

<b><math>MF_{26}(v,x) =</math></b>	1	MC604	2	13	2	1	1	6,50	0/0	0	22/1	1	22/1
	2	MC604	2	13	2	1	2	6,50	0/0	0	22/1	1	22/1
	3	A1	2	16	1	1	1	8,8	0/0	0	22/1	0	22/1
	4	A1	2	16	1	1	2	8,8	0/0	0	22/1	0	22/1
	5	A1	2	16	1	2	1	8,8	0/0	0	22/1	0	22/1
	6	A1	2	16	1	2	2	8,8	0/0	0	22/1	0	22/1
	7	A1	2	16	1	3	1	5,90	0/0	0	22/1	0	22/1
	8	A1	2	16	1	3	2	5,90	0/0	0	22/1	0	22/1

<b><math>MF_{36}(v,x) =</math></b>	1	MC1804	3	14	1	1	1	8,50	0/0	0	5/2	1	5/2
	2	MC1804	3	14	2	1	1	4,5	0/0	0	5/2	1	5/2
	3	MC1804	3	14	2	1	2	4,5	0/0	0	5/2	1	5/2
	4	MC1804	3	14	2	1	3	4,5	0/0	0	5/2	1	5/2

<b><math>MF_{46}(v,x) =</math></b>	1	MC605	4	15	1	1	1	8,8	0/0	0	5/2	1	5/2
	2	MC605	4	15	1	2	1	8,8	0/0	0	5/2	1	5/2
	3	MC605	4	15	1	3	1	9,90	0/0	0	5/2	1	5/2
	4	MC605	4	15	2	1	1	5,17	0/0	0	5/2	1	5/2
	5	MC605	4	15	2	1	2	5,17	0/0	0	5/2	1	5/2
	6	MC605	4	15	2	1	3	5,17	0/0	0	5/2	1	5/2
	7	MC605	4	15	3	1	1	9,00	0/0	0	5/2	1	5/2
	8	MC605	4	15	4	1	1	5,00	0/0	0	5/2	1	5/2
	9	MC605	4	15	4	1	2	5,00	0/0	0	5/2	1	5/2
	10	MC605	4	15	5	1	1	7,00	0/0	0	5/2	1	5/2
	11	MC605	4	15	6	1	1	4,25	0/0	0	5/2	1	5/2
	12	MC605	4	15	6	1	2	4,25	0/0	0	5/2	1	5/2

$MF_{27}(v,x) =$													
1	A1	2	16	2	1	1	10,50	0/0	0	22/1	0	22/1	
2	A1	2	16	2	1	2	10,50	0/0	0	22/1	0	22/1	
3	A1	2	16	3	1	1	8,00	0/0	0	22/1	0	22/1	
4	A1	2	16	3	1	2	8,00	0/0	0	22/1	0	22/1	
5	A1	2	16	4	1	1	8,80	0/0	0	22/1	0	22/1	
6	A1	2	16	4	1	2	8,80	0/0	0	22/1	0	22/1	
7	A1	2	16	4	2	1	5,70	0/0	0	22/1	0	22/1	
8	A1	2	16	4	2	2	5,70	0/0	0	22/1	0	22/1	
9	A1	2	16	5	1	1	6,50	0/0	0	22/1	0	22/1	
10	A1	2	16	5	1	2	6,50	0/0	0	22/1	0	22/1	
11	A1	2	16	6	1	1	8,80	0/0	0	22/1	0	22/1	
12	A1	2	16	6	1	2	8,80	0/0	0	22/1	0	22/1	
13	A1	2	16	6	1	3	8,80	0/0	0	22/1	0	22/1	
14	A1	2	16	6	2	1	8,87	0/0	0	22/1	0	22/1	
15	A1	2	16	6	2	2	8,87	0/0	0	22/1	0	22/1	
16	A1	2	16	6	2	3	8,87	0/0	0	22/1	0	22/1	

$MF_{28}(v,x) =$													
1	A1	2	16	7	1	1	7,00	0/0	0	22/1	0	22/1	
2	A1	2	16	7	1	2	7,00	0/0	0	22/1	0	22/1	
3	A1	2	16	7	1	3	7,00	0/0	0	22/1	0	22/1	
4	A1	2	16	8	1	1	10,50	0/0	0	22/1	0	22/1	
5	A1	2	16	8	1	2	10,50	0/0	0	22/1	0	22/1	
6	A1	2	16	9	1	1	6,33	0/0	0	22/1	0	22/1	
7	A1	2	16	9	1	2	6,33	0/0	0	22/1	0	22/1	
8	A1	2	16	9	1	3	6,33	0/0	0	22/1	0	22/1	
9	A1	2	16	10	1	1	10,00	0/0	0	22/1	0	22/1	
10	A1	2	16	10	1	2	10,00	0/0	0	22/1	0	22/1	
11	A1	2	16	11	1	1	7,00	0/0	0	22/1	0	22/1	
12	A1	2	16	11	1	2	7,00	0/0	0	22/1	0	22/1	
13	A1	2	16	11	1	3	7,00	0/0	0	22/1	0	22/1	

### A 2.9 MATRIZES $MP_{ys}(l,x)$ RESULTANTES DA EXECUÇÃO DOS PASSOS 27-97 DA SEÇÃO 3.3.3

$MF_{ys}(l,x) =$	$i$	$r$	$ip$	$f$	$e$	$yd$	$Cd$	$dm$	$tu$	$dcm$	$al$	$dc$
$MF_{11}(l,x) =$	PT2	4	1	1	1	1	8,8	0/0	0	1/1	0	1/1
	PT2	4	1	1	2	1	7,2	0/0	0	1/1	0	1/1
	PT2	4	1	2	1	1	5,67	6/1	2	1/1	0	6/1
	MC601	1	2	2	1	3	4,50	4/1	2	1/1	0	4/1
	MC1801	3	3	2	1	3	4,33	3/1	1	1/1	0	3/1
$MF_{12}(l,x) =$	PT2	4	1	3	1	1	5,00	0/0	0	1/1	1	7/1
	PT1	1	4	2	1	3	3,33	10/1	1	1/1	0	10/1
	MC602	1	5	2	1	3	4,83	12/1	1	8/1	0	12/1
	MC1802	1	6	2	1	3	6,33	11/1	1	1/1	0	11/1

<b><math>MF_{13}(l,x) =</math></b>	MC1802	1	6	3	1	3	5,33	17/1	2	1/1	0	17/1
	MP2	3	11	2	1	3	6,17	16/1	2	1/1	0	16/1
	MP2	3	11	3	1	3	5,67	19/1	1	1/1	0	19/1
	MC603	3	7	2	1	3	5,00	0/0	0	8/1	1	8/1
	MC603	3	7	3	1	3	4,67	0/0	0	8/1	1	8/1

<b><math>MF_{14}(l,x) =</math></b>	MC1802	1	6	5	1	3	4,83	24/1	2	1/1	0	24/1
	MC1802	1	6	7	1	3	3,33	26/1	1	1/1	0	26/1
	MC603	3	7	5	1	3	4,33	0/0	0	8/1	1	8/1
	MC1803	1	9	1	1	1	8,8	0/0	0	15/1	1	15/1
	MC1803	1	9	1	2	1	8,8	0/0	0	15/1	1	15/1
	MC1803	1	9	1	3	1	7,90	0/0	0	15/1	1	15/1
	PT3	2	8	2	1	2	6,50	0/0	0	15/1	1	15/1

<b><math>MF_{15}(l,x) =</math></b>	MC1803	1	9	2	1	1	7,50	0/0	0	15/1	1	15/1
	MC1803	1	9	3	1	1	5,83	0/0	0	15/1	1	15/1
	MP3	1	12	1	1	1	8,8	0/0	0	22/1	1	22/1
	MP3	1	12	1	2	1	10,20	0/0	0	22/1	1	22/1
	MP3	1	12	2	1	1	6,17	0/0	0	22/1	1	22/1
	MP3	1	12	3	1	1	8,8	0/0	0	22/1	1	22/1
	MP3	1	12	3	2	1	8,20	0/0	0	22/1	1	22/1
	MP3	1	12	4	1	1	6,17	0/0	0	22/1	1	22/1

<b><math>MF_{16}(l,x) =</math></b>	MC605	4	15	1	1	1	8,8	0/0	0	5/2	1	5/2
	MC605	4	15	1	2	1	8,8	0/0	0	5/2	1	5/2
	MC605	4	15	1	3	1	9,90	0/0	0	5/2	1	5/2
	MC605	4	15	2	1	1	5,17	0/0	0	5/2	1	5/2
	MC605	4	15	3	1	1	9,00	0/0	0	5/2	1	5/2
	MC605	4	15	4	1	1	5,00	0/0	0	5/2	1	5/2
	MC605	4	15	5	1	1	7,00	0/0	0	5/2	1	5/2
	MC605	4	15	6	1	1	4,25	0/0	0	5/2	1	5/2
	MC1804	3	14	2	1	3	4,5	0/0	0	5/2	1	5/2

<b><math>MF_{17}(l,x) =</math></b>	A1	2	16	6	1	3	8,80	0/0	0	22/1	0	22/1
	A1	2	16	6	2	3	8,87	0/0	0	22/1	0	22/1

<b><math>MF_{18}(l,x) =</math></b>	A1	3	16	7	1	3	7,00	0/0	0	22/1	0	22/1
	A1	2	16	9	1	3	6,33	0/0	0	22/1	0	22/1
	A1	2	16	11	1	3	7,00	0/0	0	22/1	0	22/1

<b><math>MF_{21}(l,x) =</math></b>	MC601	1	2	1	1	1	9,50	0/0	0	1/1	0	1/1
	MC601	1	2	2	1	1	4,50	4/1	2	1/1	0	4/1
	PT2	4	1	2	1	2	5,67	6/1	2	1/1	0	6/1
	MC1801	3	3	2	1	2	4,33	3/1	1	1/1	0	3/1

<b><math>MF_{22}(l,x) =</math></b>	PT1	1	4	1	1	1	7,00	0/0	0	1/1	0	1/1
	PT1	1	4	2	1	1	3,33	10/1	1	1/1	0	10/1
	MC602	1	5	1	1	1	8,8	0/0	0	8/1	0	8/1
	MC602	1	5	1	2	1	8,20	0/0	0	8/1	0	8/1
	MC602	1	5	2	1	1	4,83	12/1	1	8/1	0	12/1
	MP1	1	10	1	1	1	5,50	8/1	2	1/1	0	8/1
	MC1802	1	6	2	1	2	6,33	11/1	1	1/1	0	11/1

<b><math>MF_{23}(l,x) =</math></b>	MC602	1	5	3	1	1	4,50	0/0	0	8/1	0	12/1
	MC602	1	5	4	1	1	4,00	18/1	1	8/1	0	18/1
	MC1802	1	6	3	1	2	5,33	17/1	2	1/1	0	17/1
	MP2	3	11	2	1	2	6,17	16/1	2	1/1	0	16/1
	MP2	3	11	3	1	2	5,67	19/1	1	1/1	0	19/1
	MC603	3	7	2	1	2	5,00	0/0	0	8/1	1	8/1
	MC603	3	7	3	1	2	4,67	0/0	0	8/1	1	8/1

<b><math>MF_{24}(l,x) =</math></b>	MC1802	1	6	5	1	2	4,83	24/1	2	1/1	0	24/1
	MC1802	1	6	7	1	2	3,33	26/1	1	1/1	0	26/1
	MC603	3	7	5	1	2	4,33	0/0	0	8/1	1	8/1
	PT3	2	8	1	1	1	8,8	0/0	0	15/1	1	15/1
	PT3	2	8	1	2	1	7,20	0/0	0	15/1	1	15/1
	PT3	2	8	2	1	1	6,50	0/0	0	15/1	1	15/1

<b><math>MF_{25}(l,x) =</math></b>	MC604	2	13	1	1	1	8,8	0/0	0	22/1	1	22/1
	MC604	2	13	1	2	1	8,20	0/0	0	22/1	1	22/1
	MC1803	1	9	2	1	3	7,50	0/0	0	15/1	1	15/1
	MC1803	1	9	3	1	3	5,83	0/0	0	15/1	1	15/1
	MP3	1	12	2	1	3	6,17	0/0	0	22/1	1	22/1
	MP3	1	12	4	1	3	6,17	0/0	0	22/1	1	22/1

<b>MF<sub>26</sub>(l,x) =</b>	MC604	2	13	2	1	1	6,50	0/0	0	22/1	1	22/1
	A1	2	16	1	1	1	8,8	0/0	0	22/1	0	22/1
	A1	2	16	1	2	1	8,8	0/0	0	22/1	0	22/1
	A1	2	16	1	3	1	5,90	0/0	0	22/1	0	22/1
	MC605	4	15	2	1	2	5,17	0/0	0	5/2	1	5/2
	MC605	4	15	4	1	2	5,00	0/0	0	5/2	1	5/2
	MC605	4	15	6	1	2	4,25	0/0	0	5/2	1	5/2
	MC1804	3	14	2	1	2	4,5	0/0	0	5/2	1	5/2

<b>MF<sub>27</sub>(l,x) =</b>	A1	2	16	2	1	1	10,50	0/0	0	22/1	0	22/1
	A1	2	16	3	1	1	8,00	0/0	0	22/1	0	22/1
	A1	2	16	4	1	1	8,80	0/0	0	22/1	0	22/1
	A1	2	16	4	2	1	5,7	0/0	0	22/1	0	22/1
	A1	2	16	5	1	1	6,50	0/0	0	22/1	0	22/1
	A1	2	16	6	1	1	8,80	0/0	0	22/1	0	22/1
	A1	2	16	6	2	1	8,867	0/0	0	22/1	0	22/1

<b>MF<sub>28</sub>(l,x) =</b>	A1	2	16	7	1	1	7,00	0/0	0	22/1	0	22/1
	A1	2	16	8	1	1	10,50	0/0	0	22/1	0	22/1
	A1	2	16	9	1	1	6,33	0/0	0	22/1	0	22/1
	A1	2	16	10	1	1	10,00	0/0	0	22/1	0	22/1
	A1	2	16	11	1	1	7,00	0/0	0	22/1	0	22/1

<b>MF<sub>31</sub>(l,x) =</b>	MC1801	3	3	1	1	1	9,00	0/0	0	1/1	0	1/1
	MC1801	3	3	2	1	1	4,33	3/1	1	1/1	0	3/1
	MC601	1	2	2	1	2	4,50	4/1	2	1/1	0	4/1
	PT2	4	1	2	1	3	5,67	6/1	2	1/1	0	6/1

<b>MF<sub>32</sub>(l,x) =</b>	MC603	3	7	1	1	1	8,8	0/0	0	8/1	1	8/1
	MC603	3	7	1	2	1	5,70	0/0	0	8/1	1	8/1
	PT1	1	4	2	1	2	3,33	10/1	1	1/1	0	10/1
	MC602	1	5	2	1	2	4,83	12/1	1	8/1	0	12/1
	MC1802	1	6	1	1	1	8,8	0/0	0	1/1	0	1/1
	MC1802	1	6	1	2	1	8,8	0/0	0	1/1	0	1/1
	MC1802	1	6	1	3	1	5,40	0/0	0	1/1	0	1/1
	MC1802	1	6	2	1	1	6,33	11/1	1	1/1	0	11/1
	MP1	1	10	1	1	2	5,50	8/1	2	1/1	0	8/1

<b>MF<sub>33</sub>(l,x) =</b>	MC602	1	5	4	1	2	4,00	18/1	1	8/1	0	18/1
	MC1802	1	6	3	1	1	5,33	17/1	2	1/1	0	17/1
	MC603	3	7	2	1	1	5,00	0/0	0	8/1	1	8/1
	MC603	3	7	3	1	1	4,67	0/0	0	8/1	1	8/1
	MP2	3	11	1	1	1	8,8	0/0	0	1/1	0	1/1
	MP2	3	11	1	2	1	8,8	0/0	0	1/1	0	1/1
	MP2	3	11	1	3	1	6,40	0/0	0	1/1	0	1/1
	MP2	3	11	2	1	1	6,17	16/1	2	1/1	0	16/1
	MP2	3	11	3	1	1	5,67	19/1	1	1/1	0	19/1

<b>MF<sub>34</sub>(l,x) =</b>	MC1802	1	6	4	1	1	8,8	0/0	0	1/1	0	18/1
	MC1802	1	6	4	2	1	4,20	0/0	0	1/1	0	18/1
	MC1802	1	6	5	1	1	4,83	24/1	2	1/1	0	24/1
	MC1802	1	6	6	1	1	5,00	0/0	0	1/1	0	25/1
	MC1802	1	6	7	1	1	3,33	26/1	1	1/1	0	26/1
	MC603	3	7	4	1	1	7,00	0/0	0	8/1	1	8/1
	MC603	3	7	5	1	1	4,33	0/0	0	8/1	1	8/1

<b>MF<sub>35</sub>(l,x) =</b>	MC1803	1	9	2	1	2	7,50	0/0	0	15/1	1	15/1
	MC1803	1	9	3	1	2	5,83	0/0	0	15/1	1	15/1
	MP3	1	12	2	1	2	6,17	0/0	0	22/1	1	22/1
	MP3	1	12	4	1	2	6,17	0/0	0	22/1	1	22/1

<b>MF<sub>36</sub>(l,x) =</b>	MC1804	3	14	1	1	1	8,50	0/0	0	5/2	1	5/2
	MC1804	3	14	2	1	1	4,5	0/0	0	5/2	1	5/2
	MC604	2	13	2	1	2	6,50	0/0	0	22/1	1	22/1
	A1	2	16	1	1	2	8,8	0/0	0	22/1	0	22/1
	A1	2	16	1	2	2	8,8	0/0	0	22/1	0	22/1
	A1	2	16	1	3	2	5,90	0/0	0	22/1	0	22/1
	MC605	4	15	2	1	3	5,17	0/0	0	5/2	1	5/2

<b>MF<sub>37</sub>(l,x) =</b>	A1	2	16	2	1	2	10,50	0/0	0	22/1	0	22/1
	A1	2	16	3	1	2	8,00	0/0	0	22/1	0	22/1
	A1	2	16	4	1	2	8,80	0/0	0	22/1	0	22/1
	A1	2	16	4	2	2	5,7	0/0	0	22/1	0	22/1
	A1	2	16	5	1	2	6,50	0/0	0	22/1	0	22/1
	A1	2	16	6	1	2	8,80	0/0	0	22/1	0	22/1
	A1	2	16	6	2	2	8,867	0/0	0	22/1	0	22/1

