

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO TECNOLÓGICO  
MESTRADO EM INFORMÁTICA**

**GILDÁSIO LECCHI CRAVO**

**ESCALONAMENTO DE PROJETOS COM RESTRIÇÕES DE  
RECURSOS E MÚLTIPLOS MODOS DE PROCESSAMENTO:  
SOLUÇÕES HEURÍSTICAS E UMA APLICAÇÃO À  
PROGRAMAÇÃO DE MANUTENÇÃO INDUSTRIAL**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM INFORMÁTICA**

VITÓRIA  
2009

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**GILDÁSIO LECCHI CRAVO**

**ORIENTADORES**

**HANNU TAPIO AHONEN  
ARLINDO GOMES ALVARENGA**

**ESCALONAMENTO DE PROJETOS COM RESTRIÇÕES DE  
RECURSOS E MÚLTIPLOS MODOS DE PROCESSAMENTO:  
SOLUÇÕES HEURÍSTICAS E UMA APLICAÇÃO À  
PROGRAMAÇÃO DE MANUTENÇÃO INDUSTRIAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós – graduação em Informática do Departamento de Informática da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Informática.

**VITÓRIA  
2009**







## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 - GRAFO DEFININDO AS RELAÇÕES DE PRECEDÊNCIA ENTRE AS CINCO TAREFAS DE UM PROJETO	19
FIGURA 2.2 – MÉTODOS PARA RESOLUÇÃO DO RCPSP .....	24
FIGURA 2.3 - GRAFO DE PRECEDÊNCIA (P) DAS TAREFAS, SENDO $J$ A TAREFA E $D_j$ A DURAÇÃO DA MESMA E O CP DESTACADO EM LINHAS TRACEJADAS.....	27
FIGURA 2.4 - PSEUDOCÓDIGO DO B&B APLICADO AO RCPSP .....	29
FIGURA 3.1 – UM GRASP BÁSICO PARA PROBLEMA DE MINIMIZAÇÃO .....	34
FIGURA 3.2 – PSEUDOCÓDIGO DA FASE DE CONSTRUÇÃO DO GRASP PARA O MRCPSP .....	36
FIGURA 3.3 – PSEUDOCÓDIGO DA FASE DE BUSCA LOCAL (VIZINHANÇA DE MODOS) DO GRASP PARA O MRCPSP .....	40
FIGURA 3.4 – REPRESENTAÇÃO DE UMA SOLUÇÃO E GERAÇÃO DE VIZINHANÇA PARA O MRCPSP. (A) LISTA DE ATIVIDADES, (B) EXEMPLO DE ESCALONAMENTO VIÁVEL, (C) ATIVIDADE 3 E SUA NOVA POSIÇÃO SELECIONADA ALEATORIAMENTE, (D) SOLUÇÃO VIZINHA APÓS O DESLOCAMENTO DAS ATIVIDADES .....	41
FIGURA 3.5 – PSEUDOCÓDIGO DO MÉTODO DE VIZINHANÇA DE ATIVIDADES PARA O MRCPSP.....	42
FIGURA 4.1 – PERCENTUAL DE SOLUÇÕES ENCONTRADAS PELO GRASP PARA O GRUPO J20MM EM 100 ITERAÇÕES .....	47
FIGURA 4.2 – PERCENTUAL DE SOLUÇÕES ENCONTRADAS PELO GRASP PARA O GRUPO J20MM EM 250 ITERAÇÕES .....	48
FIGURA 4.3 - PERCENTUAL DE SOLUÇÕES ENCONTRADAS PELO GRASP PARA O GRUPO J20MM EM 500 ITERAÇÕES .....	48
FIGURA 4.4 - PERCENTUAL DE SOLUÇÕES ENCONTRADAS PELO GRASP PARA O GRUPO J20MM EM 1000 ITERAÇÕES .....	49
FIGURA 5.1 – ORGANIZAÇÃO DE UMA ORDEM DE SERVIÇO .....	56
FIGURA 5.2 – RELAÇÃO DE PRECEDÊNCIA ENTRE AS ATIVIDADES DAS OSS E ENTRE AS ATIVIDADES DA MESMA OS.....	56
FIGURA 5.3 - UMA PROGRAMAÇÃO PARA A OS (TABELA 5.2).....	58
FIGURA 5.4 – UMA PROGRAMAÇÃO MELHORADA PARA A OS (VER TABELA 5.2).....	59
FIGURA 5.5 – ALOCAÇÃO DOS RECURSOS PARA O CASO ESTUDADO .....	62
FIGURA 5.6 – ESCALONAMENTO ENCONTRADO PARA O ESTUDO DE CASO .....	62
FIGURA A1.1 – EXEMPLO DE ORDEM DE SERVIÇO DO SISMAN .....	74
FIGURA A2.1 – EXEMPLO DE PROGRAMAÇÃO DE MANUTENÇÃO.....	76
FIGURA A3.1 – INSTÂNCIA DO ESTUDO DE CASO .....	77

## LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 – UMA INSTÂNCIA DO MRCPSP .....	22
TABELA 2.2 – RELAÇÕES DE PRECEDÊNCIA (VER FIGURA 2.1) .....	23
TABELA 2.3 - RESULTADOS ENCONTRADOS PELO B&B PARA AS INSTÂNCIA DO CONJUNTO J104 DA PSPLIB	30
TABELA 4.1 – RESULTADOS DO GRASP PARA O GRUPO J20MM.....	46
TABELA 4.2 – RESULTADOS DO GRASP PARA O GRUPO J10MM.....	50
TABELA 4.3 – RESULTADOS DO GRASP PARA O GRUPO J12MM.....	50
TABELA 4.4 – RESULTADOS DO GRASP PARA O GRUPO J14MM.....	50
TABELA 4.5 – RESULTADOS DO GRASP PARA O GRUPO J16MM.....	50
TABELA 4.6 – RESULTADOS DO GRASP PARA O GRUPO J18MM.....	51
TABELA 4.7 – RESULTADOS DO GRASP PARA O GRUPO J30MM.....	51
TABELA 4.8 – RESULTADOS ENCONTRADOS NA LITERATURA .....	52
TABELA 4.9 – MELHORES RESULTADOS ENCONTRADOS PELO GRASP .....	53
TABELA 5.1 – UMA TURMA COM SUA JORNADA DE TRABALHO .....	57
TABELA 5.2 – ATIVIDADES DE UMA OS .....	57
TABELA 5.3 – RECURSOS NECESSÁRIOS DA ORDEM DE SERVIÇO.....	60
TABELA 5.4 – QUADRO RESUMO DA PROGRAMAÇÃO .....	60
TABELA 5.5 – PRECEDÊNCIAS DAS ATIVIDADES DA PROGRAMAÇÃO ANALISADA.....	61
TABELA 5.6 – LISTA DE ATIVIDADES DO ESTUDO DE CASO COM MODO, DURAÇÃO E RECURSOS CONSUMIDOS	61
TABELA 5.7 – RESULTADO ENCONTRADO POR LEAL FILHO (2003).....	63
TABELA A4.1 – DETALHAMENTO DOS MELHORES RESULTADOS DO GRASP PARA O GRUPO J20MM, UTILIZANDO 1000 ITERAÇÕES E 90% PARA LCR.....	78

# SUMÁRIO

ABSTRACT .....	10
1 INTRODUÇÃO .....	11
2 PROBLEMAS DE ESCALONAMENTO DE PROJETOS COM RESTRIÇÕES DE RECURSOS 14	
2.1 PROBLEMA DE ESCALONAMENTO DE PROJETOS COM RESTRIÇÕES DE RECURSOS E MÚLTIPLOS MODOS DE PROCESSAMENTO - MRCPSP .....	18
2.2 MÉTODOS DE RESOLUÇÃO DO MRCPSP .....	23
2.2.1 Métodos exatos.....	24
2.2.1.1 Algoritmos baseados em árvores de precedência .....	25
2.2.1.2 Algoritmos baseados no conceito de alternativas de modo e atraso.....	25
2.2.1.3 Algoritmos baseados em alternativas de modo e extensão.....	26
2.2.1.4 Exemplo de Algoritmo Branch and Bound para o RCPSP.....	26
2.2.2 Métodos heurísticos.....	30
3 GRASP ( <i>Greedy Randomized Adaptive Search Procedure</i> ).....	33
3.3 UM GRASP PARA O MRCPSP .....	35
3.3.1 Fase Construtiva do GRASP para o MRCPSP .....	35
3.3.2 Fase de Busca Local do GRASP para o MRCPSP .....	39
4 RESULTADOS COMPUTACIONAIS.....	44
4.1 RESULTADOS DO GRASP PARA O MRCPSP .....	45
4.2 RESULTADOS DA LITERATURA .....	51
5 PROGRAMAÇÃO DE MANUTENÇÃO INDUSTRIAL – ESTUDO DE CASO.....	53
5.1 PROGRAMAÇÃO DE MANUTENÇÃO INDUSTRIAL.....	54
5.2 TESTES NUMÉRICOS.....	59
5.2.1 Resultados Computacionais .....	62
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES FUTURAS.....	64
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66
ANEXO 1 – ORDEM DE SERVIÇO .....	74
ANEXO 2 – PROGRAMAÇÃO DE MANUTENÇÃO DO SISMAN.....	76
ANEXO 3 – INSTÂNCIA DO ESTUDO DE CASO.....	77
ANEXO 4 – MELHORES RESULTADOS ENCONTRADAS PELO GRASP PARA O GRUPO J20mm .....	78

## RESUMO

Esse trabalho apresenta uma implementação da meta-heurística GRASP para a resolução do Problema de Escalonamento de Projetos com Restrições de Recursos e Múltiplos Modos de Processamento (MRCPSP). O MRCPSP é um problema da classe NP – Difícil e por isso vem recebendo atenção dos pesquisadores. Nessa dissertação, também é apresentado um estudo de caso cujo problema de Programação de Manutenção Industrial é visto como um problema de escalonamento de projeto. O GRASP foi testado com o conjunto de testes da PSPLIB e os resultados encontrados mostraram que o GRASP é uma boa estratégia de solução, tendo encontrado boas soluções para as instâncias estudadas, com tempos computacionais baixos.

## **ABSTRACT**

This dissertation presents an implementation of the GRASP meta-heuristic for solving the Multi-mode Resource Constrained Problem of Scheduling Project (MRCPSP). The MRCPSP belongs to the class NP-Hard of problems and therefore has received attention of many researchers. In this dissertation, a case study problem of Scheduling Industrial Maintenance is viewed as a problem of scheduling project. The GRASP was tested with a set of benchmark tests obtained from PSPLIB and the results showed that the GRASP found good solutions with small computation time for the instances studied.

# 1 INTRODUÇÃO

A gestão de projetos sempre esteve presente na vivência humana, mas o reconhecimento de sua importância veio a partir da segunda metade do século XX, quando mudanças macroeconômicas das nações ocidentais, no sentido de melhorar sua posição em relação à concorrência no sistema de mercado aberto, exigiram a utilização de ferramentas e métodos que lhes permitissem ser mais produtivas e eficientes (Leal, 2007). Assim, o conceito de “gestão de projetos” estava fundamentalmente no domínio da arte, dependendo fortemente da “vocação” do gestor para o ato de gerir. Com a crescente pesquisa científica e a evolução dos conhecimentos, a natureza deste conceito, atualmente, situa-se entre arte e ciência, ainda exigindo uma intervenção humana, mas servindo-se de ferramentas e modelos matemáticos.

Na tarefa de gerir um projeto, uma das áreas mais estudadas é a dos problemas de escalonamento das tarefas que o compõem. O objetivo do problema de escalonar está associado a um conjunto de tarefas. Escalonar significa designar recursos e tempo de início para a execução de cada tarefa, até que todas tenham sido processadas sob as restrições impostas, com o objetivo de minimizar a duração do projeto (Blażewicz *et al.*, 1996). A aplicação pode ser em diversas áreas como, por exemplo, gerência de projetos, processamento paralelo em sistemas de informática e planejamento de projetos.

Na década de 50, Johnson (1954, *apud* Lorenzoni, 2003), Jackson (1955; 1956, *apud* Lorenzoni, 2003) e Smith (1956, *apud* Lorenzoni, 2003) publicam os primeiros trabalhos. Os problemas consideravam uma ou várias máquinas paralelas com capacidade igual de processamento, sendo que as tarefas poderiam ser processadas em qualquer uma das máquinas. Com o tempo, os mais complexos problemas de escalonamentos foram apresentados, podendo utilizar, por exemplo, máquinas com velocidades diferentes e utilização de mais de uma máquina por tarefa.

Os problemas de escalonamento de projetos com restrições de recursos têm ganhado a atenção dos pesquisadores, pois são modelos mais gerais que compreendem quase todos os problemas de escalonamento de máquinas como casos especiais (Brucker *et al.*, 1999; Leal, 2007).

A resolução desses problemas é desafiadora, dada a complexidade dos mesmos. Em geral, os problemas de escalonamentos são NP - Difíceis. Assim, as abordagens propostas têm sido por relaxações, métodos de enumeração e heurísticas/meta-heurísticas. Contudo, o modelo de escalonamento mais complexo é o escalonamento com restrições de recursos – RCPSP (*Resource Constrained Project Scheduling Problem*). Blażewicz *et al.* (1983), mostraram que o RCPSP é da classe dos problemas de otimização NP-Difícil.

Esse trabalho aborda o RCPSP (em particular, sua versão *multi-mode*, onde cada tarefa possui múltiplos modos de processamento - MRCPSP) e propõe uma implementação da meta-heurística GRASP (*Greedy Randomized Adaptive Search Procedure*) para a resolução do RCPSP e a sua validação por meio das instâncias disponíveis na biblioteca de testes PSPLIB.

A escolha do GRASP justifica-se, pois esta vem sendo aplicada em diversos problemas de otimização com bastante sucesso.

O GRASP (Feo e Resende, 1995; Festa e Resende, 2002; Aiex *et al.*, 2003) é um método iterativo de duas fases. A primeira consiste na construção gulosa e aleatória de uma solução viável para o problema, e a segunda fase é uma busca local que tenta melhorar a solução inicial encontrada na primeira fase.

Por último, será apresentado um estudo de caso em que o RCPSP é aplicado à Programação de Manutenção Industrial, na tentativa de melhorar o tempo de parada para manutenção de equipamentos. O estudo de caso é baseado na dissertação de Filho (2003), na qual é mostrado o problema de programação de manutenção da empresa Vale.

O trabalho está organizado da seguinte forma: o Capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica sobre o RCPSP (MRCPSP). No Capítulo 3 é mostrada uma breve revisão sobre o GRASP e é mostrado o GRASP proposto para o MRCPSP. No

Capitulo 4 são apresentados os resultados encontrados. No Capitulo 5 é apresentado um estudo de caso sobre Programação de Manutenção Industrial, seguido das Conclusões e Recomendações Futuras, e Referências Bibliográficas.

## 2 PROBLEMAS DE ESCALONAMENTO DE PROJETOS COM RESTRIÇÕES DE RECURSOS

O Problema de Escalonamento de Projetos com Restrições de Recursos (*RCPSP – Resource Constrained Project Scheduling Problem*) tem grande aplicabilidade na prática, em que temos, por exemplo, projetos como construção civil e projetos de engenharia que possuem atividades definidas, recursos escassos para a execução do projeto e relações entre as atividades que o compõem.

O RCPSP consiste num conjunto de tarefas a serem processadas com um número limitado de recursos (Lorenzoni, 2003). As tarefas competem pela utilização dos recursos, que podem ser distintos, tais como mão-de-obra, capital, ferramentas e outros. Escalonar é definir os tempos de início e os recursos utilizados por cada tarefa do projeto, com uma ou mais metas de otimização (Pinedo, 1995).

Brucker *et al.* (1999) e Yang *et al.* (2001 *apud* Leal, 2007) apresentam uma classificação para os diversos tipos de RCPSP, com uma ligeira diferença entre cada autor. Os seis tipos apresentados são:

- Modo único (*single-mode*): os problemas com modos únicos são considerados como sendo os clássicos. Assume-se que existe apenas um modo de execução por tarefa, com duração e uma quantidade exigida de recursos renováveis (são liberados quando a tarefa termina de ser processada), com os valores conhecidos para a duração da tarefa e consumo de recursos. Não admite interrupção entre as tarefas (sem *preemption*). A notação proposta por Brucker *et al.* (1999) é designada por  $PS/Prec/C_{max}$ .
- Múltiplos Modos (*multi-mode*): essa classe de problemas possui múltiplos modos de execução para cada tarefa. Na seção 2.1, será mostrada mais detalhadamente essa classe, por se tratar do problema em estudo nessa dissertação. A variação estudada é a que tem duração e recursos consumidos por cada modo de execução conhecidos de partida. O objetivo final do MRCPSP (*Multi-mode RCPSP*) é escalonar as atividades e atribuir os tempos de inícios de cada uma delas, tentando minimizar o tempo total do

projeto, de maneira tal que os recursos não excedam e mantenha-se a ordem de precedência definida no projeto. A notação de Brucker *et al.* (1999) é  $MPS/Prec/C_{max}$ . Esse problema tem recebido muita atenção da comunidade científica, por sua proximidade com a realidade dos projetos e a sua inerente complexidade. O primeiro modelo matemático conhecido foi proposto por Talbot (1982).

- Tempo-Custo (*time-cost tradeoff*): na prática, nos problemas de compromisso tempo-custo, a variação de investimento em um projeto determina a duração das atividades que o compõem. Assim, quanto mais recurso financeiro for gasto com, por exemplo, mão-de-obra, ferramentas e materiais, mais rápido as tarefas serão realizadas e, assim, o projeto será acelerado. Pode-se pensar na medida financeira associada aos níveis de recursos gastos em cada atividade e estabelecer uma relação entre a duração da atividade e o valor líquido gasto para a sua execução. Nos problemas de tempo-custo, não há uma referência clara à utilização de recursos. Procura-se determinar o melhor sequenciamento das atividades, de modo a respeitar uma restrição ao nível de investimento. Como no MRCPSP, o escalonamento é a ordem de execução das tarefas e os tempos de início das mesmas. Na literatura, têm-se duas funções objetivas:

1. *Problema do Tempo-Limite de Execução (deadline problem)*: minimizar o custo total do projeto, considerando como sendo fixo o tempo máximo disponível para a sua execução;
2. *Problema Orçamentário (budget problem)*: define-se a quantidade máxima de recursos não renováveis e automaticamente é definido o montante máximo de capital que pode ser aplicado no projeto. Uma vez definido esse limite, o objetivo é minimizar a duração global do projeto, de modo a não ultrapassar o orçamento estabelecido.

Para informações mais detalhadas sobre este problema, ver Leal (2007); Akkan (1998, 1999, *apud* Lorenzoni, 2003). Problemas de Tempo-custo são considerados casos especiais do problema  $MPS/prec/C_{max}$ .

- Tempo de Defasagem Máximo e Mínimo (*minimum and maximum time lags*): um tempo de defasagem mínimo (*minimal time lag*) especifica que uma tarefa pode iniciar (ou finalizar) o seu processamento quando a tarefa antecessora já tiver se iniciado (ou finalizado) por no mínimo certo período de tempo (Lorenzoni, 2003).

Um tempo de defasagem máxima (*maximal time lag*) especifica que uma atividade deveria iniciar (ou finalizar) o seu processamento no máximo por certo período de tempo além do início (ou fim) de outra atividade (Lorenzoni, 2003). A notação proposta do Brucker *et al.* (1999) é  $PS/temp/C_{max}$ . Para a resolução deste tipo de problema destacam-se os trabalhos de Bartush *et al.* (1988, *apud* Klein, 2000), De Reyck (1998, *apud* Klein, 2000), De Reyck e Herroelen (1999, *apud* Klein, 2000) e Heilmann (2003).

- Funções Objetivas Não Regulares: na literatura, existem algumas abordagens para problemas em que as funções que se pretendem otimizar não têm um comportamento regular. As funções são ditas regulares quando o valor da função objetiva cresce ou decresce (ou se mantém) à medida que o tempo de finalização das tarefas do projeto cresce ou decresce. Um exemplo de função regular é o tempo de finalização da última tarefa do projeto (*makespan*). Entretanto, para avaliar um projeto, podem-se utilizar funções que não são regulares, ou seja, não satisfazem as condições mencionadas. Assim, o atraso de uma atividade pode, por exemplo, melhorar o desempenho do escalonamento. Dois problemas cujas funções objetivas são não regulares podem ser visto a seguir:

1. *Nível de Utilização dos Recursos (resource leveling problem)*: a notação de Brucker *et al.* (1999) é  $PS/temp/\sum c_k f(r_k(S,t))$ , onde  $c_k$  representa o custo unitário do recurso  $k$ . Esses problemas têm como objetivo a minimização de alguma avaliação da utilização dos recursos (Lorenzoni, 2003).

Maiores informações sobre este problema são encontrados em trabalhos como Neumann e Zimmermann (1997, *apud* Klein, 2000) que propuseram três diferentes expressões para a função objetiva  $f(r_k(S,t))$

(Lorenzoni, 2003). Burgess e Killebrew (1962, *apud* Klein, 2000), Levy *et al.* (1962, *apud* Klein, 2000), Moodie e Mandeville (1966, *apud* Klein, 2000), Woodworth e Willie (1975, *apud* Klein, 2000), Harris (1990, *apud* Klein, 2000), e Takamoto *et al.* (1995, *apud* Klein, 2000) propõem procedimentos baseados em diferentes regras de prioridade. Savin *et al.* (1996, *apud* Klein, 2000) reportam experimentos com redes neurais. Alguns métodos exatos são propostos por Ahuja (1976, *apud* Klein, 2000), Easa (1989, *apud* Klein, 2000), Bandelloni *et al.* (1994, *apud* Klein, 2000), e Younis e Saad (1996, *apud* Klein, 2000). Brinkmann e Neumann (1996, *apud* Klein, 2000), Neumann e Zimmermann (1997, 1998, 1999, *apud* Klein, 2000), e Zimmermann (1997, *apud* Klein, 2000) propuseram heurísticas baseadas em regras de prioridade, considerando também tempo mínimo e máximo de defasagem entre as tarefas. Uma Busca Tabu é descrita em Neumann e Zimmermann (1999, *apud* Klein, 2000).

2. *Resultado Líquido (net present value problem)*: tem como notação proposta por Brucker *et al.* (1999)  $PS/temp/\sum c_j^F b^{C_j}$ . Esse problema refere-se ao valor líquido obtido com a execução das tarefas. A expressão da função objetiva  $b^{C_j}$  é a taxa de desconto por período de tempo e  $c_j^F$ , o fluxo de caixa obtido com a execução da atividade  $j$ , que se pressupõe ocorrer no tempo de finalização da tarefa  $j$  e pode ser positivo (pagamento recebido) ou negativo (custo debitado).

O objetivo que se coloca é maximizar esse valor (Lorenzoni, 2003). Os conceitos de fluxo de caixa podem ser encontrados em Russell (1986, *apud* Lorenzoni, 2003) e Herroelen *et al.* (1997, *apud* Lorenzoni, 2003). Para a resolução deste tipo de problema, algoritmos exatos usando *branch and bound* são propostos por Yang *et al.* (1993, *apud* Klein, 2000), Icmeli e Erenguc (1996, *apud* Leal, 2007), De Reyck e Herroelen (1998, *apud* Klein, 2000), e Baroum e Patterson (1999, *apud* Klein, 2000). Também foram propostos algoritmos heurísticos como um *Simulated Annealing* por Yang *et al.* (1995, *apud* Klein, 2000) e Busca Tabu proposta por Icmeli e Erenguc (1994, *apud* Leal, 2007).

- Atividades com Duração Estocástica: essa classe de problema do tipo RCPSP é a que a duração das atividades não é conhecida completamente de partida. Na maioria dos projetos reais, os valores não são conhecidos, por não serem bem definidos ou por serem incontroláveis. Para lidar com essa situação, assume-se que o tempo de processamento da tarefa é uma variável aleatória obtida através de uma distribuição de probabilidade. Da mesma forma, o consumo de recursos pode ser dado por estimativas.

Na seção 2.1 é apresentada uma formulação para o MRCPSP e mostrado como podemos representar as relações de precedência entre as atividades, os modos de execução e consumo das tarefas que compõem o projeto.

## **2.1 PROBLEMA DE ESCALONAMENTO DE PROJETOS COM RESTRIÇÕES DE RECURSOS E MÚLTIPLOS MODOS DE PROCESSAMENTO - MRCPSP**

Uma variedade de problemas pode ser agrupada nessa área de escalonamentos. Uma delas é a dos problemas em que se têm múltiplos modos de processamento por atividade (MRCPSP). O MRCPSP é definido como um conjunto  $T$  de tarefas que compõem um projeto, um conjunto  $R$  de recursos, podendo ser renováveis ou não renováveis, um conjunto de relações de precedência entre as tarefas de  $T$  e um critério a ser otimizado.

O problema que se coloca é determinar o tempo de início de processamento de cada tarefa que compõe o projeto, alocando recursos para esse processamento de modo a satisfazer as restrições de precedência e de recursos, sendo as funções objetivas mais usuais a de minimização do tempo de execução do projeto e a de minimização dos atrasos na finalização das tarefas.

As tarefas de  $T$  podem ter alguns atributos, como:

1. *Tempo de processamento* –  $p_{jm}$ : correspondente ao tempo de processamento da tarefa  $j$  no modo  $m$ ;
2. *Release time* –  $r_j$ : instante no qual a tarefa  $j$  está disponível para processamento;

3. *Due Date* –  $d_j$ : instante-limite em que a execução da tarefa  $j$  deve estar finalizada. As funções de penalidade são definidas de acordo com os *due dates*;
4. *Deadline* –  $D_j$ : tempo máximo para o término do processamento da tarefa  $j$ . Este instante não pode ser violado de forma alguma;
5. *Prioridade ou peso* –  $w_j$ : denota a importância da tarefa  $j$  em relação às outras tarefas do projeto.

Os recursos podem ser classificados como renováveis e não renováveis, sendo os renováveis os disponíveis em quantidades limitadas, que se renovam a cada período de tempo, ou seja, quando uma tarefa que está usando o recurso for processada por completo, o recurso volta a estar disponível para ser utilizado por outra tarefa. Ex.: equipamentos e mão-de-obra; e os não renováveis, que estão limitados a todo o horizonte de execução do projeto, ou seja, quando ele é utilizado, não retorna após a tarefa ser concluída. Ex.: capital destinado à execução do projeto.

As tarefas possuem entre si uma relação de precedência, ou seja, uma tarefa só poderá ser iniciada quando todos os seus predecessores (antecessores) tiverem sido concluídos (processados). Para a representação gráfica dessa relação, é utilizado o que se denomina grafo de precedência (designado AON – *Activities On Nodes*), mostrado na figura 2.1.

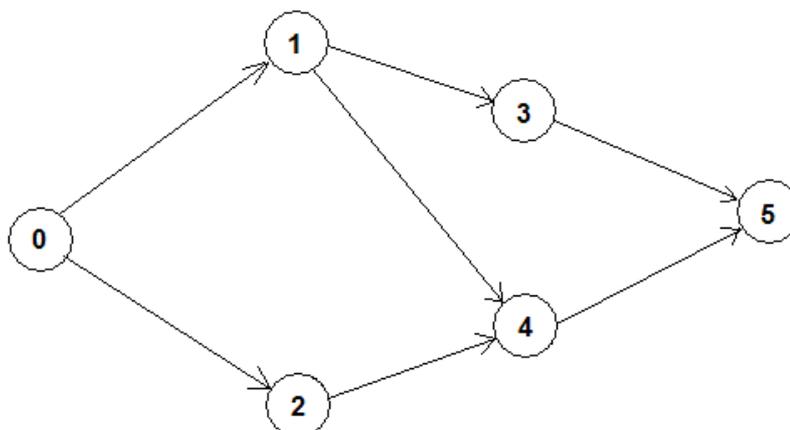


Figura 2.1 - Grafo definindo as relações de precedência entre as cinco tarefas de um projeto

Na figura 2.1, a tarefa 0 e 5 são artificiais, elas têm tempo de processamento 0 e servem para definir um “fluxo” no grafo. Como a tarefa 5 deve ser processada depois de todas as outras, então o tempo de processamento do projeto é o mesmo tempo de conclusão da tarefa 5.

A modelagem matemática apresentada para o caso *multi-mode* (Lorenzoni, 2003) também pode ser utilizada para o *single-mode*, bastando que o conjunto  $M$  de modos de execução da tarefa contenha somente um modo de execução e desconsiderando a restrição de recursos não renováveis, já que esta deverá estar disponível para todo o projeto, caso contrário o problema já será inviável.

Para a representação do modelo, consideram-se as seguintes variáveis:

$T$ : conjuntos de tarefas;

$j$ : tarefa pertencente a  $T$ ;

$R^{ren}$ : recursos renováveis;

$R^{nren}$ : recursos não renováveis;

$C_{max}$ : tempo de conclusão do projeto;

$M_j$ : indica os diversos modos de processamento de  $j$ ;

$c_r$ : quantidade de recurso  $r$  pertencente a  $R$ ;

$<$ : define uma relação de precedência entre as atividades de  $T$ ;

$t_j$ : tempo de início da tarefa  $j$  – é o que se deseja encontrar;

$m$ : modo de processamento pertencente a  $M_j$  – é o que se deseja encontrar para cada tarefa  $j$  em  $T$ ;

$C_j$ : tempo de conclusão da tarefa  $j$ ;

$C_{max}$ : maior tempo de conclusão dentre todos os  $C_j$  – é o que se pretende minimizar satisfazendo tanto as restrições de recursos (renováveis e não renováveis), como as restrições impostas pela relação de precedência;

$y_{j,m}$ : variável binária, indicando 1 se o modo  $m$  foi selecionado para a tarefa  $j$  ou 0, caso contrário;

$q_{j,r,m}$ : quantidade de recurso  $r$  utilizado pela tarefa  $j$  no modo  $m$ ;

$U(r,t)$ : uma abreviação denotando o conjunto de tarefas utilizando o recurso  $r$  no instante  $t$ ;

$p_{j,m}$ : tempo de processamento da atividade  $j$  no modo  $m$ .

Assim, o modelo pode ser formulado como:

$$\text{minimizar } C_{max}, \quad (2.1)$$

sujeito a

$$C_{max} = \max_{j \in T} \{C_j \mid C_j = t_j + \sum_{m \in M_j} y_{j,m} p_{j,m}\}, \quad (2.2)$$

$$\sum_{j \in U(r,t)} \sum_{m \in M_j} y_{j,m} q_{j,r,m} \leq c_r, \quad \forall r \in R^{ren} \text{ e } t \in \mathbb{N} \quad (2.3)$$

$$\sum_{j \in T} \sum_{m \in M_j} y_{j,m} q_{j,r,m} \leq c_r, \quad \forall r \in R^{nren}, \quad (2.4)$$

$$\sum_{m \in M_j} y_{j,m} = 1 \quad \forall j \in T, \quad (2.5)$$

$$t_j + \sum_{m \in M_j} y_{j,m} p_{j,m} \leq t_{j'}, \quad \forall j, j' \in T, \text{ com } j \prec j'. \quad (2.6)$$

$$y_{j,m} \in \{0, 1\}, \quad \forall m \in M_j, j \in T \text{ e} \quad (2.7)$$

$$t_j \in \mathbb{N}, \quad \forall j \in T. \quad (2.8)$$

A equação (2.2) define o máximo tempo de conclusão, ou seja, o tempo de conclusão da última tarefa.

As desigualdades expressas em (2.3) e (2.4) estabelecem as restrições de recursos renováveis e não renováveis, respectivamente.

A restrição (2.5) indica que somente um modo de execução da tarefa  $j$  pertencente a  $T$  deve ser selecionado.

As relações de precedência expressas em (2.6) estipulam que a execução da tarefa  $j$  não pode ser iniciada antes que todos os seus predecessores tenham sido executados.

Na Tabela 2.1 é apresentada uma instância para o MRCPSP constituído por quatro atividades (a atividade 0 e 5 são fictícias e representam o início e o fim do projeto, respectivamente, e ambas possuem duração igual a 0 e não consomem recursos). Cada atividade possui dois modos de execução e são indicados os respectivos consumos de recursos por modo. Neste caso, existem dois tipos de recursos: renováveis e não renováveis. Existem ainda quatro unidades do recurso renovável  $R_1$ , seis unidades do recurso renovável  $R_2$ , dez unidades do recurso não renovável  $N_1$  e oito unidades de recurso não renovável  $N_2$  (Leal, 2007).

Tabela 2.1 – Uma instância do MRCPSP

Atividades	Modos	Duração	Recursos Renováveis		Recursos Não renováveis	
			$R_1$	$R_2$	$N_1$	$N_2$
0	1	0	0	0	0	0
1	1	2	2	3	2	2
	2	4	1	2	1	0
2	1	1	3	2	4	3
	2	3	1	1	2	1
3	1	2	3	2	3	3
	2	5	2	1	1	1
4	1	2	5	0	0	3
	2	3	2	2	0	1
5	1	0	0	0	0	0
<b>Disponibilidade de recursos</b>			<b>4</b>	<b>6</b>	<b>10</b>	<b>8</b>

O conjunto de atividades/tarefas que formam o projeto caracteriza-se por possuírem “duração” e “custo”. A duração pode ser discreta ou contínua no tempo, determinística ou estocástica, conforme seja, ou não, conhecido o tempo, respectivamente. O custo está associado ao consumo de recursos disponíveis no projeto pela atividade.

A relação de precedência entre as tarefas (ver figura 2.1) pode ser representada pela Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Relações de precedência (ver figura 2.1)

<b>Atividades</b>	<b>Atividades sucessoras</b>
0	1, 2
1	3, 4
2	4
3	5
4	5
5	

A coluna “Atividades” representa as atividades do projeto e a coluna “Atividades sucessoras” representa a lista de atividades que serão liberadas quando a atividade for completada. A atividade sucessora poderá ser então executada, quando todas as atividades antecessoras (predecessoras) tiverem sido executadas. No exemplo, a atividade 4 só poderá ser processada quando as atividades 1 e 2 estiverem sido completamente processadas.

A seguir, serão mostrados alguns dos métodos de resolução do MRCPSP.

## **2.2 MÉTODOS DE RESOLUÇÃO DO MRCPSP**

Como dito, MRCPSP é um problema NP - Difícil Blazewicz *et al.* (1983) e são encontrados na literatura, métodos exatos e aproximados, sendo que a maioria dos métodos exatos baseiam-se a técnica de *branch and bound* e não encontram a solução para instâncias com uma quantidade elevada de atividades em tempo computacional aceitável, logo, técnicas heurísticas e meta-heurísticas tem sido propostas para o MRCPSP, a fim de encontrar soluções boas em tempos computacionais aceitáveis.

Na Figura 2.2 (Lorenzoni, 2003) é mostrada uma visão esquemática dos principais métodos utilizados na resolução dos problemas de escalonamento com restrições de recursos.

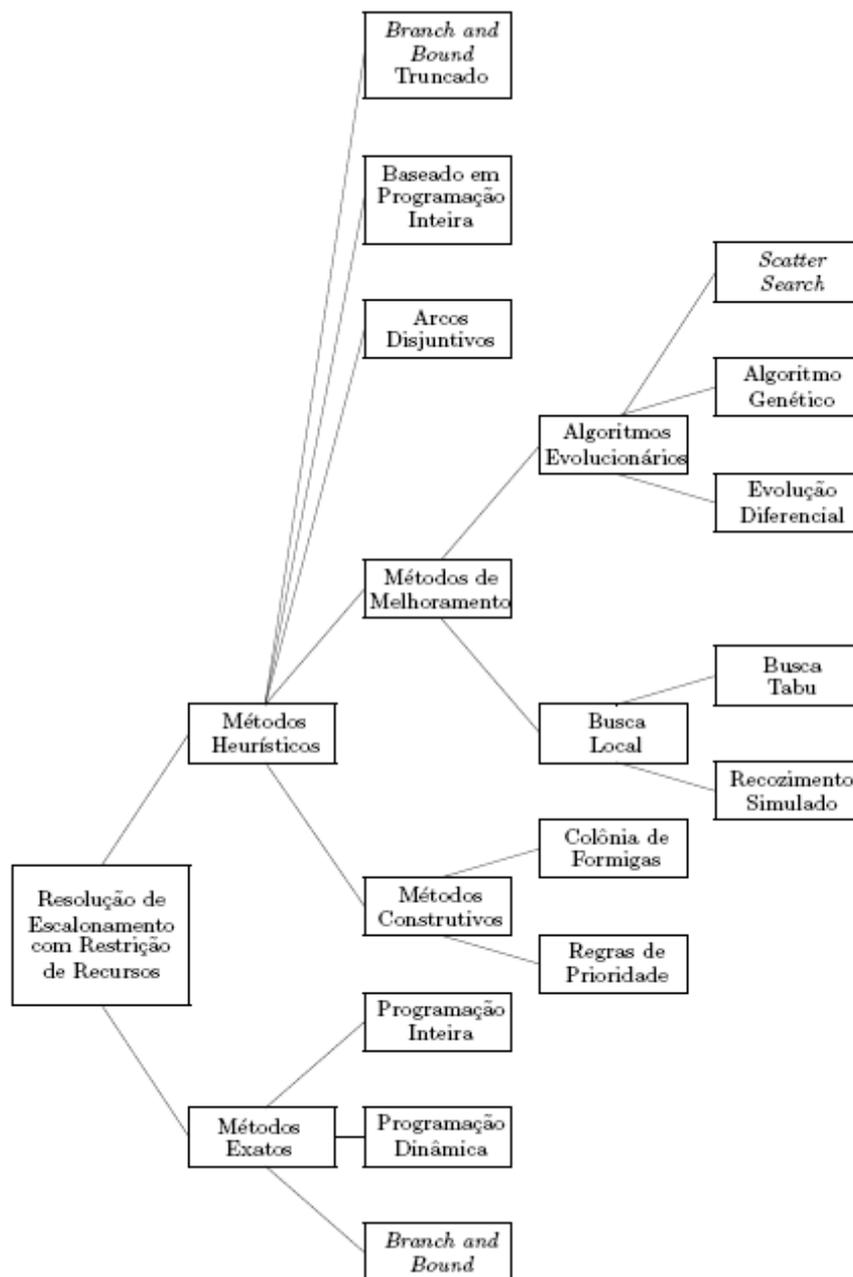


Figura 2.2 – Métodos para resolução do RCPSP

### 2.2.1 Métodos exatos

Um algoritmo é dito exato quando este encontra uma solução ótima para um problema. No domínio do MRCPS, os algoritmos exatos referenciados são essencialmente algoritmos de pesquisa e enumeração baseado no método de partição e avaliação sucessiva (*branch and bound*) Leal (2007).

### **2.2.1.1 Algoritmos baseados em árvores de precedência**

Algoritmos baseados em árvores de precedência (*precedence tree*): consiste em construir ao longo de uma árvore de pesquisa diferentes escalonamentos, escolhendo nos ramos da árvore pares de modo-atividade que possam ser escalonados assim como instantes de tempos mais cedo em que esse escalonamento pode ser realizado. Um ramo termina quando a atividade escalonada é a fictícia que representa o fim do projeto. O processo de *backtracking* realizado ao longo da árvore gera soluções alternativas que podem ser comparados pela função objetivo. Um caminho que leva da raiz da árvore até um nível mais baixo corresponde a uma sequência de escalonamento válida de atividades, isto é, respeita as relações de precedência (Brucker *et al.*, 1999). Algoritmos baseados em árvore de precedência foram propostos por Patterson *et al.* (1989, *apud* Leal, 2007) e melhorados posteriormente por Sprecher (1994, *apud* Leal, 2007), e Sprecher e Drexl (1996, *apud* Leal, 2007).

### **2.2.1.2 Algoritmos baseados no conceito de alternativas de modo e atraso**

Algoritmos baseados no conceito de alternativas de modo e atraso (*mode and delay alternatives*): igualmente baseado na construção de uma árvore de pesquisa na qual cada nó está associado a um determinado instante de tempo. Em cada nó escalonam-se temporariamente atividades cujas antecessoras já tenham sido escalonadas. Isso é feito escolhendo entre vários pares de modo-atividade possíveis. Se alguma restrição de recurso tiver sido violada com esse escalonamento, calculam-se conjuntos de atividades dentre as que acabaram de ser escalonadas. Esses conjuntos representam as atividades que podem tornar válido o escalonamento parcial realizado no nó da árvore se todas forem atrasadas. Entre os vários conjuntos, escolhe-se um dos conjuntos *mínimos*, isto é, um conjunto tal que se for removida uma atividade qualquer o atraso das atividades restantes não será suficiente para garantir a validade do escalonamento parcial (Leal, 2007; Brucker *et al.*, 1999). Originalmente propostos por Sprecher *et al.* (1997, *apud* Leal, 2007), baseado na adaptação de outros métodos na literatura para resolver o MRCPS (Christofides *et al.*, 1987) e Demeulemeester e Herroelen. (1992, *apud* Leal, 2007).

### **2.2.1.3 Algoritmos baseados em alternativas de modo e extensão**

Algoritmos baseados em alternativas de modo e extensão (*mode and extension alternatives*): esses algoritmos são parecidos com o anterior. A diferença está no fato de não ser permitido efetuar escalonamentos parciais nos nós da árvore de pesquisa que viole restrições de recursos. O conceito de extensão referido no nome do algoritmo consiste num conjunto de pares modo-atividade escalonáveis num determinado nó, e que estendem o escalonamento parcial do nó no nível superior sem que nenhuma restrição ligada aos recursos seja violada (Leal, 2007; Brucker *et al.* 1999).

### **2.2.1.4 Exemplo de Algoritmo Branch and Bound para o RCPSP**

A principal estratégia enumerativa utilizada para a resolução dos diversos problemas de escalonamento de projetos tem sido o *Branch and Bound* (B&B) (Brucker *et al.*, 1998). Essa estratégia baseia-se na construção dinâmica de uma árvore que representa o espaço de solução de todos os escalonamentos viáveis (um escalonamento é dito viável se satisfaz tanto as restrições de precedência quanto as restrições de recursos impostas). Cada abordagem pode usar variados métodos de ramificação e diferentes estratégias de poda, tais como regras de dominância, Limites Inferiores, Limites Superiores, de modo a permitir que porções do espaço de solução não sejam totalmente exploradas.

Para a ramificação da árvore de busca do B&B aqui apresentado, foi utilizada a idéia da árvore de precedência (Brucker *et al.*, 1998) onde são relaxadas as restrições de recursos, gerando então uma lista de tarefas elegíveis a serem escalonadas em cada nível da árvore, cada escolha possível de tarefa representa uma possível ramificação. No caso *multi-mode*, cada par (tarefa, modo) representa uma possível escolha de ramificação.

Para a poda é utilizado um *upper bound*, que é definido como o valor da função objetivo da primeira solução viável encontrada e é atualizada toda vez que uma nova solução melhor é encontrada. O B&B encontra uma nova solução viável quando chega ao último nível da árvore que tem a profundidade igual ao número de tarefas a serem escalonadas, ou seja, quando for escalona a  $n$ -ésima tarefa.

Como *lower bound* utiliza-se a idéia baseada no caminho crítico, ou seja, o valor da melhor possibilidade de escalonamento da tarefa  $j$  relaxando as restrições de recursos.

O caminho crítico é definido como:  $CP = ES_n = EF_n$  onde  $ES_j$  é o tempo de início mais cedo para a tarefa  $j$  e  $EF_j$  é o tempo de finalização mais cedo para a tarefa  $j$ .  $EF_j$  é definido recursivamente como:

$$ES_j = \max \{EF_i / i \in P_j\} \quad \text{para } j = 2, \dots, n; \quad (2.9)$$

$$EF_j = ES_j + d_j \quad \text{para } j = 2, \dots, n; \quad (2.10)$$

$P_j$ : conjunto dos predecessores de  $j$ ;

$d_j$ : duração da atividade  $j$ .

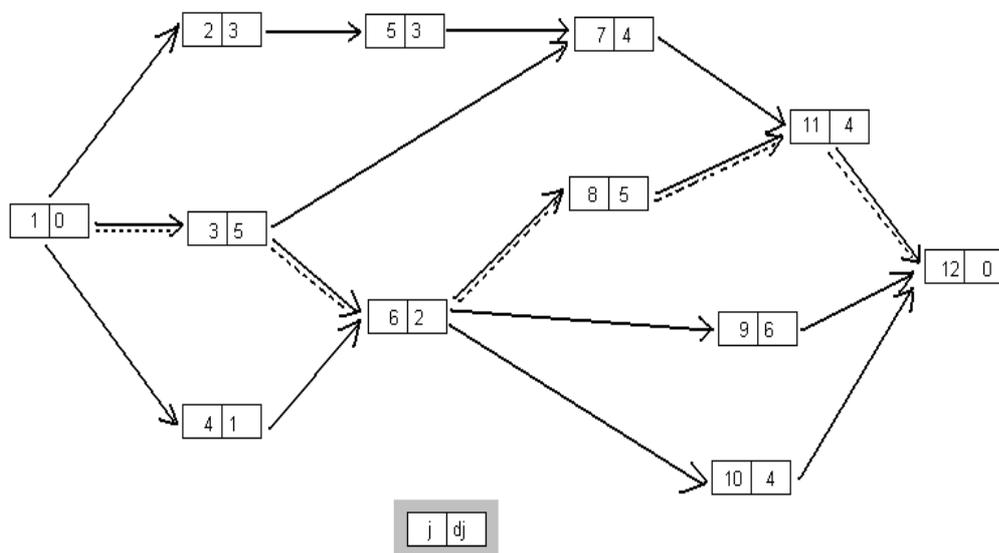


Figura 2.3 - Grafo de precedência (P) das tarefas, sendo  $j$  a tarefa e  $d_j$  a duração da mesma e o CP destacado em linhas tracejadas

Para o grafo mostrado na Figura 2.3, aplicando a fórmula apresentada tem-se o  $CP = EF_{12} = ES_{12} = LS_{12} = LF_{12} = 16$  e o caminho crítico destacado em linhas tracejadas.

Também é definido  $LS_j$  e  $FS_j$  como sendo, o tempo mais tarde que a tarefa  $j$  pode ser programada, tanto o início como a finalização respectivamente, a fim de poder manter o CP sem violar a restrição de precedência:

$$LF_j = \min \{LS_h / h \in F_j\} \quad \text{para } j = n-1, \dots, 1; \quad (2.11)$$

$$LS_j = LF_j - d_j \quad \text{para } j = n-1, \dots, 1; \quad (2.12)$$

$F_j$ : conjunto de sucessores de  $j$ ;

$d_j$ : duração da atividade  $j$ .

Assim, para cada tarefa candidata a ser escalonada, define-se um *lower bound* como sendo:  $LB_j = CP - LS_j + (t_j + d_j)$  sendo  $t_j$  o tempo que a tarefa  $j$  será atribuída e  $d_j$  o tempo de duração da tarefa no escalonamento parcial atual ( $d_j$  pode variar pois depende do modo selecionado no *multi-mode*). Se  $LB_j > UB$  então podemos podar e tentar outra ramificação possível na árvore.

Quando o B&B ramificar/podar toda a árvore e encontrar-se no nível 0 (zero), o algoritmo termina.

A Figura 2.4 mostra o pseudocódigo do B&B para o RCPSP. Seja  $S$  vetor de tarefas escalonadas,  $T$  o vetor de tempos de inícios das tarefas escalonadas e  $E$  a lista de elegíveis, “*nível*” o nível atual da árvore de busca e  $i[nível]$  a quantidade de elegíveis que foram examinados em cada nível “*nível*”.

```

Procedimento BranchAndBound()
S <- {1} //Inicia o escalonamento com a tarefa 1
T[1] <- 0; //Seta o tempo da tarefa 1 como 0
Parar <- Falso;
Enquanto (Parar = Falso) Faça
  E <- CriarElgiveis(S);
  Se (i[nivel] < |E|) Então //Ainda Falta Elegiveis?
    j <- PegaPrimeiroElegivel(E);
    T[j] <- encontrarMelhorTempo(j,S);
    //Não foi viável em recurso a tarefa nesse Schedule?
    Se ("EncontrouMelhorTempo falhou") Então
      i[nivel]++; //Tente outro modo/tarefa
    Senão
      LBj <- T[j] + (CT - LSj);
      //Poda por UB ou LB
      Se (T[j] > UB OU LBj > UB) Então
        i[nivel]++; //Tenta outro modo
        devolveRecursosNaoRenovaveis(j);
      Senão
        S <- S U j;
        Se (j = "Ultima Tarefa" E (f(S*) > T[j])) Então
          S* <- S;
          T* <- T;
          UB <- f(S*);
        Fim-Se
        Fim-Se
      Fim-Se
    Senão
      sx <- RemoverUltimoEscalonado(S);
      Se (sx = 1) Então //Nó raiz. Acabou a árvore!
        Parar <- Verdadeiro;
      Senão//Acabou os ramos. Volta nível e vai para o próximo ramo...
        nivel--;
        i[nivel]++;
        devolveRecursosNaoRenovaveis(sx);
      Fim-Se
    Fim-Se
  Fim-Enquanto
  //(Tarefas e Tempos de Início).
Retorna S* e T* como o escalonamento ótimo
Fim-BranchAndBound

```

Figura 2.4 - Pseudocódigo do B&B aplicado ao RCPS

A função *encontrarMelhorTempo(j,S)*, da Figura 2.4, tenta encontrar o melhor tempo para escalonar a tarefa *j* que seja viável em recursos renováveis e não renováveis no escalonamento parcial atual *S*.

O B&B foi aplicado ao conjunto de teste j104 disponível na PSPLIB (*Project Scheduling Problem Library*), e os resultados são mostrados na Tabela 2.3. Estas

instâncias contêm doze tarefas cada (incluindo as tarefas de início e fim), cada tarefa tem três modos possíveis de escalonamento e dois recursos renováveis e dois não renováveis.

Tabela 2.3 - Resultados encontrados pelo B&B para as instância do conjunto j104 da PSPLIB

<b>Instâncias</b>	<b>Tempo de conclusão (FO)</b>	<b>Tempo (s)</b>
j104_1	27	12
j104_2	20	3
j104_3	23	2
j104_4	15	15
j104_5	31	2
j104_6	21	25
j104_8	19	5
j104_9	21	3
j104_10	15	6

A implementação do B&B apresentada não trabalha satisfatoriamente (em relação ao tempo de execução) para instâncias de grande porte. Sendo essa apresentada aqui, apenas como ilustração de um algoritmo exato para o MRCPSP.

### **2.2.2 Métodos heurísticos**

Como mencionado anteriormente, métodos exatos são computacionalmente limitados, pois aplicados a instâncias de grande porte, o tempo de resposta passa a ser muito grande. Dessa forma, métodos heurísticos passam a ser uma alternativa viável para obtenção de soluções boas para os problemas de maior porte.

Os métodos heurísticos (meta-heurísticos) tentam equilibrar qualidade de solução e esforço computacional. Assim, para se ter maior velocidade na obtenção de soluções para os problemas de maior porte em tempos computacionais aceitáveis são aceitas soluções que não sejam ótimas.

As heurísticas propostas para o RCPSP pertencem à classe dos métodos construtivos ou métodos de melhoramento.

Os Métodos Construtivos partem de um estado inicial e executam um conjunto de operações que conduzem a uma solução do problema. A regra de prioridade é um exemplo dessa classe de algoritmo. Essa técnica associa uma prioridade a todas as

tarefas que estão disponíveis a serem sequenciadas e, então, em cada etapa do escalonamento, é escolhida a tarefa com mais alta prioridade (Lorenzoni, 2003).

Boctor (1993) apresenta um estudo envolvendo sete regras de prioridade para as atividades e três regras para os modos, numa combinação de vinte e um tipos de procedimentos diferentes para efetuar o escalonamento. As regras de prioridades de tarefas são listadas a seguir (Leal, 2007):

- a. MIN SLK (*Minimal Total Slack*): a atividade com menor valor de folga (o conceito de folga está diretamente ligado à noção de caminho crítico);
- b. MIN LFT (*Minimum Latest Finish Time*): a atividade com tempo de fim mais próximo de  $t$  (o instante de tempo em análise);
- c. MAX NIS (*Maximum number of immediate successors*): a atividade com maior número de atividades sucessoras imediatas;
- d. MAX RWK (*Maximum remaining work*): a atividade cuja soma da sua duração e das durações de todas as suas sucessoras é maior;
- e. LPM (*Longest Processing Time*): atividade com maior duração;
- f. SPM (*Shortest Processing Time*): atividade com menor duração;
- g. MAX CAN (*Maximum number of subsequent candidates*): atividade selecionada com base no número de candidatos subsequentes.

Para a seleção dos modos de execução das atividades, as três regras de prioridade são seguintes (Leal, 2007):

- a. SFM (*Shortest feasible mode*): modo com duração mais curta;
- b. LCR (*Least Critical Resource*): modo com menor valor da medida que mede o quanto crítico é o uso dos recursos (essa medida traduz, para cada recurso, a maior proporção entre o pico de utilização de recursos e o montante disponível de cada recurso);
- c. LRP (*Least Resource Proportion*): modo com menor proporção de recursos consumidos.

Essas regras são combinadas para encontrar um escalonamento e os modos de execução de cada tarefa escalonada.

Os Métodos de Melhoramento são aplicados com o intuito de melhorar uma solução inicial que foi encontrada por algum método construtivo. Uma técnica é a de busca local onde é adotada uma estratégia para guiar o algoritmo na direção de uma solução ótima. O algoritmo explora o espaço de busca a partir de um critério que define o caminho a ser percorrido (Lorenzoni, 2003). Dentre as estratégias heurísticas para o RCPSP destacam-se as abordagens Busca Tabu, Algoritmos Genéticos e Recozimento Simulado (Klein, 2000).

De Reyck e Herroelen (1999, *apud* Klein, 2000) propuseram um método de pesquisa local e outra de Busca Tabu para resolver o MRCPSP com diversas restrições. Józefowska *et al.* (2001, *apud* Leal, 2007) e Bouleimen & Lecocq (2003) resolvem o MRCPSP com um *Simulated Annealing*. Hartmann (2001) descreve um Algoritmo Genético baseado em lista de precedências.

Uma descrição mais detalhada dos principais modelos e das abordagens utilizadas na resolução dos problemas de escalonamentos de projetos pode ser encontrada em Blażewicz *et al.* (1996), Brucker *et al.* (1998; 1999), Herroelen *et al.* (1998), e Klein (2000).

Lorenzoni (2003) e Damak (2009) propõem uma meta-heurística, Evolução Diferencial, para resolver o MRCPSP e em Leal (2007) é proposta uma decomposição de Dantzig-Wolfe aplicada ao modelo proposto por Talbot (1982).

### **3 GRASP (*Greedy Randomized Adaptive Search Procedure*)**

Algoritmos exatos e heurísticos vêm sendo propostos para a resolução do MRCPSP, sendo os métodos heurísticos os que atentem com certa satisfação, pois além de encontrar soluções de boas qualidades, os tempos computacionais são baixos.

Assim, esse trabalho propõe um GRASP para a resolução do MRCPSP e este será apresentado nesse capítulo.

O GRASP, proposto por Feo e Resende (1995), é um método iterativo constituído de duas fases: a de construção e a de busca local. Na fase de construção, é gerada uma lista de candidatos, ordenados de acordo com sua contribuição na função objetivo (ou de acordo com algum critério estabelecido). Uma solução é construída elemento a elemento. Essa construção é probabilística, pois a escolha do novo elemento que deverá compor a solução é feita aleatoriamente a partir de uma lista, denominada lista de candidatos restritos (LCR) que é formada pelo melhores elementos da lista de candidatos. A heurística também é adaptativa, pois a cada iteração da fase de construção os elementos restantes são atualizados para refletir as mudanças ocasionadas pela seleção do elemento na iteração anterior.

Tendo em vista que essa construção é probabilística, as soluções geradas nesta fase, provavelmente não serão localmente ótimas. Daí a importância da segunda fase do GRASP, que tenta melhorar a solução construída na fase anterior, trabalhando na sua vizinhança.

O parâmetro de aleatoriedade que determina o tamanho da LCR, ou seja, quantos melhores elementos farão parte da LCR, é um parâmetro importante a ser ajustado em um procedimento GRASP.

Devido a sua facilidade implícita, existem na literatura diversas aplicações práticas usando o GRASP. Desde 1980 o GRASP vem sendo aplicado em grande escala na pesquisa operacional e em problemas de otimização na indústria (Festa e Resende, 2002). Dentre esses estão inclusos problemas de roteirização, lógica, particionamento, localização, teoria dos grafos, transporte, telecomunicações, projeto VLSI entre outros.

Algumas variações do GRASP também foram propostas. Prais e Ribeiro (2000) propuseram um GRASP Reativo, que é um GRASP no qual não se usa um valor fixo para o parâmetro que define o tamanho da LCR durante a fase construtiva. O GRASP Reativo previamente se auto-ajusta de acordo com a qualidade das soluções encontrada. Laguna e Martí (1999) incorporaram ao GRASP uma estratégia de *path relinking*, para tentar melhorar os resultados. Resende e Ribeiro (2005) apresentaram vários avanços e aplicações para o GRASP com *path relinking*. Para uma revisão completa sobre o GRASP e suas aplicações, veja Festa e Resende (2002), Aiex *et al.* (2003) e Resende e Ribeiro (2003). A figura 3.1 mostra um pseudocódigo do GRASP básico para um problema de otimização (no caso, minimização).

```

Dados: Número de Iterações Iter, LCR_tam
Resultado: Solução  $x^* \in X$ 
1:  $f^* \leftarrow \infty$ 
2: Para  $i=1, \dots, \textit{Iter}$  faça
3:    $x \leftarrow \textit{ConstrucaoAleatoria\_e\_Gulosa}$  (LCR_tam)
4:    $f(x) \leftarrow \textit{BuscaLocal}(x)$ 
5:   Se  $f(x) < f^*$  Então
6:      $f^* \leftarrow f(x)$ 
7:      $x^* \leftarrow x$ 
8:   Fim Se
9: Fim Para
10: Fim-GRASP

```

Figura 3.1 – Um GRASP básico para problema de minimização

O algoritmo recebe como parâmetros a quantidade/percentual de elementos pertencentes à LCR que serão sorteados para comporem a solução (*LCR\_tam*) e o número de iterações (*Iter*). A cada iteração é construída uma solução gulosa e aleatória e é aplicado a essa solução uma heurística de busca local que busca na vizinhança da solução gulosa ( $x$ ) uma melhora na função objetiva. Se a solução melhorou (linha 5) a melhor solução encontrada até então é atualizada (linhas 6 e 7). Ao final do procedimento a melhor está armazenada em  $x^*$ .

### **3.3 UM GRASP PARA O MRCPSP**

O GRASP proposto utiliza regras de prioridade na seleção das atividades e na seleção dos modos de execução. Foi utilizado para a geração de um escalonamento a ideia de árvore de precedência (Brucker *et al.*, 1999) onde é selecionado cada tarefa que irá compor a lista de tarefas do escalonamento, definindo assim a ordem de execução das mesmas. Depois que as tarefas foram selecionadas, é aplicado um procedimento de *backtracking* que percorre a lista de tarefas associando a cada uma um modo. Ao final tem-se um escalonamento viável em recursos e em precedência. A seguir as fases do GRASP são apresentadas com mais detalhes.

#### **3.3.1 Fase Construtiva do GRASP para o MRCPSP**

Essa fase é onde um escalonamento viável em recursos e em precedência é criado. Ela trabalha de forma gulosa e aleatória, selecionando tarefa por tarefa e associando, ao final, os modos de execução de cada uma das tarefas.

A Figura 3.2 apresenta o pseudocódigo da fase de construção do GRASP. A cada iteração uma nova tarefa é escalonada e assim a lista de atividades elegíveis, ou seja, aptas para serem escalonadas, é atualizada, possibilitando que novas tarefas façam parte da lista de elegíveis.

```

1: Procedimento FASEConstruçãoGulosaAleatoria()
2: Dados: LCR_tam //Tamanho da lista de candidatos restrita
3: Resultados: LJobs ← {1} // Lista de tarefas escalonadas
4:               LModos ← {} //Lista do modos selecionados
               posição←0
5: Enquanto ("Ainda existe Tarefas a escalonar") Faça
6:   LCR = GerarLCR(LJobs);
7:   Se (LCR ≠ {}) Então
8:     job = LCR[Aleatório(LCR_tam)];
9:     AcertarSucessores(job);
10:    IncrementaFrequencia (job, posição++);
11:    LJobs ← LJobs ∪ {job};
12:   Fim-Se
13: Fim-Enquanto
14: LModos = SelecionarModos(LJobs);
15: CalcularTemposDeInicioFim(LJobs, LModos);
15: Fim-FASEConstruçãoGulosaAleatorio

```

Figura 3.2 – Pseudocódigo da Fase de Construção do GRASP para o MRCPSP

O algoritmo mostrado na Figura 3.2 recebe como parâmetros *LCR\_tam* que é o percentual de melhores elementos pertencentes a lista de candidatos restrita (LCR) e tem como resultado a lista de tarefas (variável *LJobs*) e a lista de modos (*LModos*). Enquanto existir tarefas a serem escalonadas, é gerada a lista de candidatos baseada nas tarefas escalonadas até então (ver linha 6). Se a lista não estiver vazia, uma tarefa é sorteada da lista de candidatos dentre os *LCR\_tam* primeiros elementos (ver linha 8; a função *Aleatório* retorna um número no intervalo  $[0, LCR\_tam]$ ). Selecionada a tarefa (variável *job*), cada um dos seus sucessores é ajustado para refletir que mais um de seus antecessores já foi escalonado (ver linha 9; caso o contador de antecessores escalonados de uma atividade *j* qualquer for igual ao número de antecessores, a tarefa passará a fazer parte da lista de elegíveis, ou seja, estará apta a ser escalonada).

Na linha 10 do pseudocódigo, é associado ao par (*atividade, posição no escalonamento*) um contador de frequência, na tentativa de diversificar a lista de atividades construída nas diversas iterações do algoritmo. Assim, no momento em que nova LCR estiver sendo gerada, se numa determinada posição do escalonamento, as tarefas já tenham sido escalonadas nessa posição (quem dirá é

o contador de frequência), essas tarefas serão penalizada na LCR. Logo após (linha 11), a tarefa (*job*) é adicionada a lista de tarefas escalonadas (*LJobs*).

Quanto todas as tarefas estiverem sido escalonadas, o procedimento *SelecionarModos()* (linha 14), percorre a lista de tarefas selecionando o modo de cada uma das tarefas utilizando um algoritmo de *backtracking*. Ao final, são calculados os tempos de início de cada tarefa, agora já com o modo de execução definido (linha 15).

No algoritmo da Figura 3.2, é necessário descrever como os procedimentos *GerarLCR()*, *SelecionarModos()* e *CalcularTemposDeInicioFim()* são executados. A ideia principal de cada uma delas é descrita abaixo.

- *GerarLCR()*: essa função gera uma lista de tarefas elegíveis baseada na lista de tarefas já escalonadas até então.

Dado os seguintes critérios:

- a. *Soma das quantidades mínimas de recursos não renováveis* (*qtd\_nren*): somatório da quantidade mínima de recursos não renováveis utilizada pela tarefa dentre todos os modos;
- b. *Número de sucessores liberados* (*qtd\_suc\_lib*): quantidade de sucessores que a tarefa liberará caso seja escalonada;
- c. *Número de sucessores diretos* (*qtd\_suc*): quantidade de sucessores diretos que a tarefa possui.

É criada a lista de tarefas elegíveis ordenada de forma não decrescente de acordo com a função  $f(j)$ :

$$f(j) = qtd\_nren(j)^{-1} + qtd\_suc\_lib(j)^{-1} + qtd\_suc(j)^{-1}. \quad (3.1)$$

Essas são regras de prioridade utilizadas para a seleção de atividades, sendo  $qtd\_suc\_lib(j)$  e  $qtd\_suc(j)$  prevista na relação de regras de prioridade estudadas por Boctor (ver seção 2.2.2) como *MAX NIS* e *MAX CAN*, respectivamente. A outra é colocada como forma de tentar priorizar tarefas que utilizam mais recursos não renováveis.

- *SelecionarModos()*: é a parte do código que faz a lista de tarefas passar a ser um escalonamento viável, pois ao término, o escalonamento já possui os modos selecionados de todas as tarefas do projeto. A cada tarefa é atribuído um modo de execução que mantenha a solução (escalonamento) viável em recursos não renováveis. Para tal, utiliza-se de uma regra de prioridade para ordenar os modos. A regra utilizada está listada dentre as propostas por Boctor (1993) como LRP (modo com menor proporção de recursos consumidos), sendo neste caso, considerado o consumo de recurso não renováveis.
- *CalcularTemposDeInicioFim()*: recebe a lista de tarefas e os modos de execução de cada uma, ou seja, o escalonamento completo, faltando agora atribuir os tempos de início e fim das atividades. Para cada tarefa (exceto a tarefa 1 que é a primeira e artificial, e sempre começa no tempo 0 e termina também em 0) localiza-se o tempo da tarefa antecessora mais tardia ( $t_i$ ) e o tempo de finalização mais tarde de todas as outras tarefas escalonadas ( $t_f$ ) (no caso a última tarefa a ser processada do escalonamento). De posse desses dois valores de tempo, é feita uma verificação em todo o intervalo  $[t_i, t_f]$  tentando encontrar um subintervalo  $[t_j, t_j+d_j]$  ( $t_j$  = tempo da tarefa  $j$  e  $d_j$  = duração da tarefa  $j$ ) viável em recurso renovável. Se nesse intervalo não for possível escalonar, ou seja, encontrar o intervalo  $[t_j, t_j+d_j]$  viável em recurso renovável, a tarefa é escalonada depois de todas as outras, ficando com o tempo de início e fim como:  $t_{j\_inicio} = t_f$  e  $t_{j\_fim} = t_f + d_j$ .

O procedimento de construção da solução gulosa e aleatória termina com um escalonamento viável em recursos renováveis e não renováveis e com os tempos de início e fim definidos. Como a construção do escalonamento é feita de forma gulosa e aleatória é provável que a solução não seja localmente ótima, na tentativa de melhorar a solução inicial encontrada na primeira fase, uma busca local é aplicada ao escalamento tentando melhorar o tempo total do projeto.

### 3.3.2 Fase de Busca Local do GRASP para o MRCPSP

A fase de busca local foi implementada usando a definição de vizinhança de modo (*multi-mode left shift*) e vizinhança de atividade.

Um *multi-mode left shift* de uma tarefa  $j$  é uma ação executada sobre o escalonamento que reduz o tempo de finalização da tarefa  $j$  sem modificar os modos de processamento e sem aumentar os tempos de finalizações das outras tarefas e sem violar as restrições de recursos (Lorenzoni, 2003).

Quando é percorrida uma única vez as tarefas do escalonamento na tentativa de se encontrar *um multi-mode left shift*, diz-se que o método é de um único passo, e quando se aplica iterativamente o método de um único passo até que nenhum *multi-mode left shift* seja encontrado, diz-se que é de múltiplos passos (Lorenzoni, 2003).

Na tentativa de melhorar a função objetiva do escalonamento para cada tarefa, seguindo a ordem de escalonamento é aplicado o *multi-mode left shift*, se encontrado. O resultado é um escalonamento com duração igual ou menor do que o original. Nessa implementação foi utilizado o método com múltiplos passos. A Figura 3.3 ilustra o pseudocódigo do método *multi-mode left shift* utilizado na busca local do GRASP proposto.

```

1: Procedimento FASEBuscaLocalVizinhaçaModos ()
2: Dados: LJobs // Lista de tarefas escalonadas
3:         LModos //Lista de modos selecionados do escalonamento LJobs
4: Resultados: LJobs* //Novo escalonamento com FO <= a FO de LJobs
5:         LModos* //Lista de modos de LJobs*
6: LJobs2 <- LJobs;
7: LModos2 <- LModos;
8: i <- 2
9: Enquanto ("Ainda existe tarefas sem verificar") Faça
10:   j = LJobs2(i);
11:   m_aux = LModos2(j);
12:   Para m=1 até |Modosj| Faça
13:     Se m <> m_aux Então
14:       LModos2(j) = m;
15:       AjustarEscalonamento(LJobs2, LModos2);
16:       Se EscalonamentoEhViavel(LJobs2, LModos2) E
         f(LJobs2,LModos2) <= f(LJobs, LModos) Então
17:         LJobs* <- LJobs2;
18:         LModos* <- LModos2;
19:       Senão //retorna como estava antes
20:         LModos2(j) = m_aux;
21:         AjustarEscalonamento(LJobs2, LModos2);
22:     Fim-Se
23:   Fim-Se
24:   Fim-Para
25:   i <- i+1;
26: Fim-Enquanto
27: Fim-FASEBuscaLocalVizinhaçaModos

```

Figura 3.3 – Pseudocódigo da Fase de Busca Local (vizinhança de modos) do GRASP para o MRCPS

No pseudocódigo acima (Figura 3.3), o procedimento *AjustarEscalonamento()* (linha 15 e 21) acerta os tempos de início e fim de cada tarefa do novo escalonamento, pois o modo de execução da tarefa  $j$  foi alterado. O procedimento *EscalonamentoEhViavel()* (linha 16) verifica se o novo escalonamento é viável em recursos não renováveis.

A vizinhança de atividade é construída da seguinte forma: escolhe-se uma atividade, encontra-se, dentre os sucessores dessa atividade, o sucessor que tem o tempo de início mais cedo no escalonamento e o antecessor da atividade selecionada que possui o tempo de finalização mais tarde. Nesse intervalo é possível mover a atividade selecionada sem que se perca a restrição de precedência. Então, sorteia-se uma nova posição nesse intervalo e desloca todas as tarefas entre a posição

antiga e a nova posição e coloca-se a atividade selecionada nessa nova posição (Bouleimen e Lecocq, 2003).

A Figura 3.4 mostra um escalonamento onde é aplicado esse método.

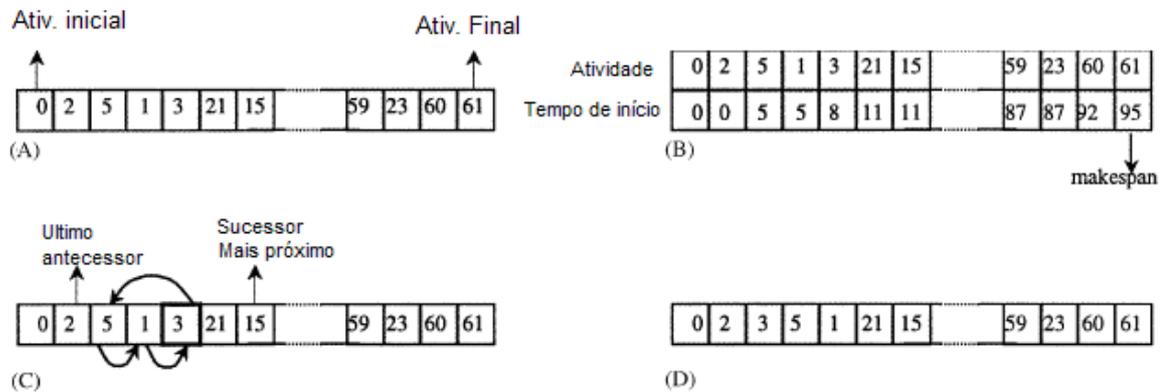


Figura 3.4 – Representação de uma solução e geração de vizinhança para o MRCPSp. (A) Lista de atividades, (B) exemplo de escalonamento viável, (C) atividade 3 e sua nova posição selecionada aleatoriamente, (D) solução vizinha após o deslocamento das atividades

A Figura 3.5 mostra o pseudocódigo do segundo método para a busca local. A função *DeslocaEscalonamento()* (linha 15) realiza o deslocamento das atividades que estão entre a atividade  $j$  selecionada e a nova posição (*NovaPosição*). Caso se tenha uma melhoria na solução, a mesma é guardada como melhor solução encontrada até então (linha 17), caso contrario é desfeito o movimento de deslocamento (linha 22). O procedimento realiza uma busca na vizinhança de todas as atividades do escalonamento.

```

1: Procedimento FASEBuscaLocalVizinhançaAtividades ()
2: Dados: LJobs // Lista de tarefas escalonadas
3:     LModos //Lista de modos selecionados do escalonamento LJobs
4: Resultados: LJobs* //Novo escalonamento com FO <= a FO de LJobs
5:     LModos* //Lista de modos de LJobs*
6: LJobs* <- LJobs;
7: LModos* <- LModos;
8: i <- 2
9: Enquanto ("Ainda existe tarefas sem verificar") Faça
10:   j = LJobs(i);
11:   PosJ = i;
12:   PosAntecessor <- LocalizaAntecessorTardio(j);
13:   PosSucessor <- LocalizaSucessorMaisCedo(j);
14:   NovaPosição <- Aleatório([PosAntecessor, PosSucessor]);
15:   DeslocaEscalonamento(LJobs, PosJ, NovaPosição);
16:   LJobs(NovaPosição) = j;
17:   Se (f(LJobs, LModos) < f(LJobs*, LModos*)) Então
18:     FO = f(LJobs, LModos);
19:     LJobs* <- LJobs;
20:     LModos* <- LModos;
21:   Else
22:     DesfazDeslocamento(LJobs, PosJ, NovaPosição);
23:   Fim-Se
24: i <- i+1;
25: Fim-Enquanto
26: Fim-FASEBuscaLocalVizinhançaAtividades

```

Figura 3.5 – Pseudocódigo do método de vizinhança de atividades para o MRCPSP

Experimentos prévios apontaram que a utilização da busca local com o método da vizinhança de atividades, e o método de vizinhança de modo combinado com vizinhança de atividades não se mostraram interessante. No primeiro caso, as soluções foram muito ruins. No segundo, a melhoria no tempo de conclusão total do projeto (*makespan*) não foi significativa (tendo ocorrido resultados piores) em relação à utilização da vizinhança de modo sozinha, então, somente a vizinhança de modo foi considerada efetivamente nos testes para essa dissertação.

A não melhoria da solução com a combinação da vizinhança de atividades, provavelmente, se dá pelo fato da primeira servir para diversificar a lista de tarefas (alterando a ordem das atividades na mesma) e como o GRASP já cria a lista de tarefas de forma aleatória (seleciona aleatoriamente um elemento da lista de candidatos restrita) essa diversificação acontece naturalmente no procedimento GRASP.

A seção 4 apresenta os resultados computacionais do GRASP para as instâncias disponíveis na PSPLIB e a comparação com outros resultados disponível na literatura.

## 4 RESULTADOS COMPUTACIONAIS

Como dito anteriormente essa dissertação trata do MRCPSP (*Multi-mode Resource Constrained Project Scheduling Problem*) onde as atividades podem ser executadas de diferentes modos, com características de duração e de restrições de recursos renováveis e não renováveis distintas entre si e implementar um GRASP para o MRCPSP. O algoritmo foi implementado na linguagem de programação Java (JDK 1.6), executada em um microcomputador equipado com um processador de 1.8GHz e 2GB de memória RAM.

Para a validação dos resultados obtidos pelo GRASP foi utilizada a base de instâncias disponíveis na literatura em PSPLIB. Essa biblioteca possui um conjunto de testes com diversas instâncias agrupadas por número de atividades, por complexidade do problema (*single-mode*, *multi-mode* etc.), além dos resultados (menor *makespan*) encontrado até então para as instâncias, podendo, em alguns casos ser a solução ótima, solução heurística ou *lower bounds*, informando também o método e o autor. Nos testes realizados com o GRASP foram considerados os problemas *multi-mode* em especial as instâncias do grupo com vinte atividades (j20mm). Esse grupo foi utilizado para a calibração dos parâmetros do GRASP.

Os grupos de problemas estudados são formados por projetos compostos por dez, doze, quatorze, dezesseis, dezoito, vinte e trinta atividades (cada atividade tem sua lista de tarefas sucessoras). As atividades possuem três modos de execução ordenados pela duração (modo 1 tem duração menor que o 2 que é menor que o 3). Cada modo tem informações distintas sobre a duração, à demanda de recursos renováveis e a demanda de recursos não renováveis necessárias. Cada instância possui informação distinta de quantidade de recursos disponíveis para o projeto.

Os conjuntos estão organizados em sessenta e quatro grupos, compostos por dez instâncias cada, estas geradas por parâmetros similares dentro de cada grupo. Assim, um total de seiscentos e quarenta instâncias, para as quais existem, no *benchmark* os seguintes resultados:

- 536 resultados ótimos para o grupo j10mm;

- 547 resultados ótimos para o grupo j12mm;
- 551 resultados ótimos para o grupo j14mm;
- 550 resultados ótimos para o grupo j16mm;
- 552 resultados ótimos para o grupo j18mm;
- 554 resultados (ótimo) para o grupo j20mm; e
- 552 resultados heurísticos para o grupo j30mm.

Os resultados foram encontrados por autores diversos. Os restantes das instâncias dos grupos não possuem resultados viáveis que cumpram restrições de tempo e de recursos não renováveis.

Como dito, o grupo j20mm foi utilizado para verificar os resultados do GRASP para instâncias em que são conhecidos os valores ótimos das mesmas e assim calibrar os parâmetros de execução para os outros grupos de instâncias.

O GRASP precisa de dois parâmetros para ser executado. O primeiro é o número de iterações, que nesse trabalho, executou-se com os parâmetros 100, 250, 500 e 1000, e o segundo parâmetro é a quantidade de elementos da lista de candidatos restrita (LCR), que aqui foram utilizados os valores de: 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80% e 90%.

A seção 4.1, tem os resultados obtidos com as execuções do algoritmo seguindo o que foi dito.

#### **4.1 RESULTADOS DO GRASP PARA O MRCPSP**

A Tabela 4.1, mostra os resultados obtidos pelo GRASP aplicado ao grupo j20mm, esses dados foram utilizados para verificar os melhores parâmetros de LCR para os números de iterações. A fim de serem utilizados nos outros grupos de instâncias.

Tabela 4.1 – Resultados do GRASP para o grupo j20mm

Iterações	LCR	Desvio Médio	Desvio Máximo	% Ótimos ( <i>makespan</i> médio)	% Ótimos (melhores <i>makespan</i> )	% Ótimos (piores <i>makespan</i> )	Tempo médio (s)
100	10	0,00	0,00	57,04%	57,04%	57,04%	0,01
100	20	0,00	0,00	57,04%	57,04%	57,04%	0,01
100	30	0,04	1,79	55,78%	58,30%	55,78%	0,01
100	40	0,31	2,00	47,65%	68,23%	47,65%	0,01
100	50	0,23	2,17	46,39%	68,77%	46,39%	0,01
100	60	0,32	2,17	46,57%	68,23%	46,57%	0,01
100	70	0,32	2,05	46,93%	67,51%	46,93%	0,01
100	80	0,31	2,17	46,21%	69,86%	46,21%	0,01
100	90	0,31	2,61	46,21%	68,59%	46,21%	0,01
250	10	0,00	0,00	62,45%	62,45%	62,45%	0,94
250	20	0,00	0,00	62,45%	62,45%	62,45%	0,95
250	30	0,03	1,34	61,55%	63,54%	61,55%	0,95
250	40	0,17	1,52	54,87%	71,84%	54,87%	0,95
250	50	0,19	1,73	54,87%	74,37%	54,87%	0,94
250	60	0,24	1,79	54,15%	74,01%	54,15%	0,94
250	70	0,15	1,41	64,62%	79,42%	64,62%	5,40
250	80	0,23	1,92	55,96%	74,37%	55,96%	0,95
250	90	0,16	1,64	64,98%	80,32%	64,98%	4,87
500	10	0,00	0,00	66,61%	66,61%	66,61%	2,12
500	20	0,00	0,00	66,61%	66,61%	66,61%	2,13
500	30	0,02	1,52	66,06%	67,69%	66,06%	2,21
500	40	0,15	1,64	60,11%	76,17%	60,11%	2,16
500	50	0,15	1,64	59,21%	76,90%	59,21%	2,17
500	60	0,19	1,95	59,21%	78,16%	59,21%	2,59
500	70	0,24	1,79	54,51%	74,01%	54,51%	0,94
500	80	0,20	1,58	59,93%	79,42%	59,93%	2,17
500	90	0,23	1,64	55,23%	74,01%	55,23%	0,96
1000	10	0,00	0,00	72,20%	72,20%	72,20%	4,83
1000	20	0,00	0,00	72,20%	72,20%	72,20%	4,83
1000	30	0,03	1,22	70,94%	73,83%	70,94%	4,87
1000	40	0,31	2,07	64,80%	79,06%	64,80%	5,24
1000	50	0,23	2,17	63,90%	79,60%	63,90%	5,09
1000	60	0,18	1,82	60,11%	77,44%	60,11%	2,10
1000	70	0,16	2,17	63,54%	80,32%	63,54%	4,75
1000	80	0,20	2,30	60,47%	79,78%	60,47%	2,16
1000	90	0,16	1,52	63,72%	80,87%	63,72%	4,84

Na Tabela 4.1, as colunas “Iterações” e “LCR” indicam o número de iterações e a LCR utilizada, respectivamente, na execução do GRASP. A coluna “Desvio Médio” e “Desvio Máximo” mostram o desvio médio e desvio máximo, respectivamente, em cinco execuções do GRASP. A coluna “% Ótimos (*makespan* médio)” mostra o percentual de instância que o GRASP encontrou igual o *benchmark* disponível na PSPLIB com a configuração de LCR considerando o valor médio de cinco execuções do GRASP.

A coluna “% Ótimos (*makespan* melhor)” mostra o percentual de soluções encontrada pelo GRASP igual ao *benchmark* considerando os melhores resultados dentre as cinco execuções do GRASP para cada configuração de parâmetros especificada. Na coluna “% Ótimos (*makespan* pior)” são mostrados os piores resultados encontrados pelo GRASP dentre as cinco execuções do algoritmo.

Ainda podemos ver que o tempo de resposta é muito baixo (coluna “Tempo médio (s)”), sendo assim possível executar o GRASP com um número mais elevado para a quantidade de iterações.

As Figuras 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4 mostram os gráficos dos valores da LCR e o percentual de soluções ótimas encontradas pelo GRASP.

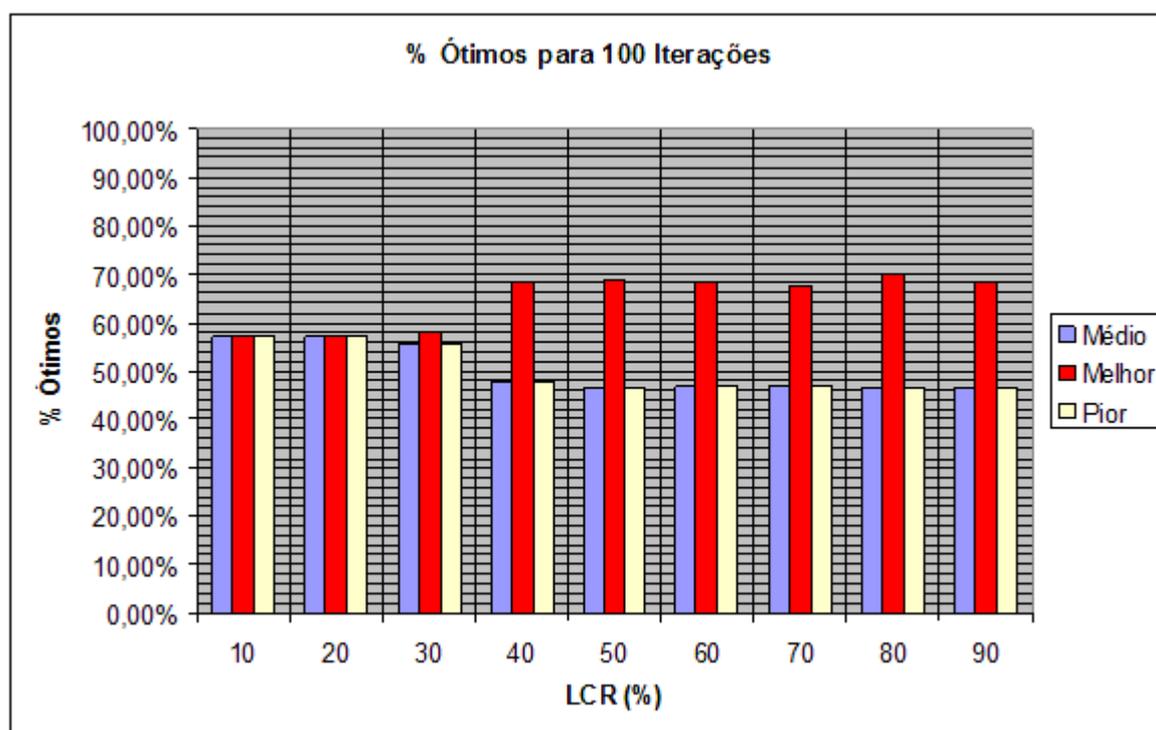


Figura 4.1 – Percentual de soluções encontradas pelo GRASP para o grupo j20mm em 100 iterações

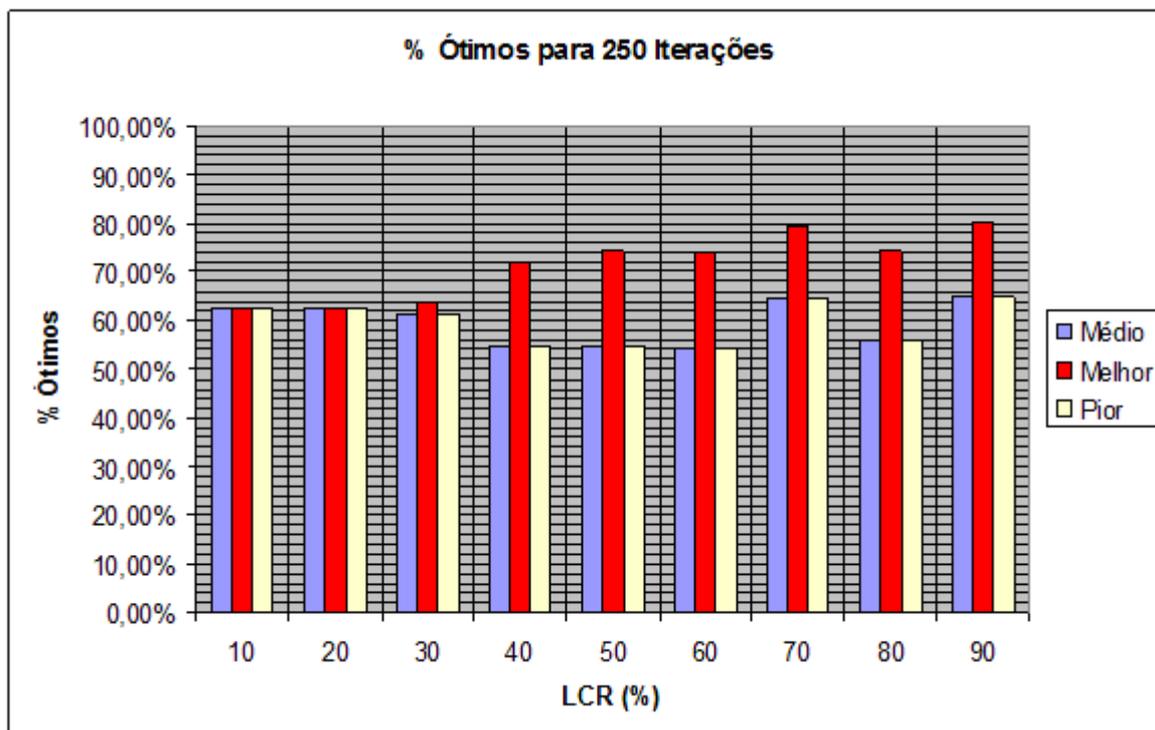


Figura 4.2 – Percentual de soluções encontradas pelo GRASP para o grupo j20mm em 250 iterações

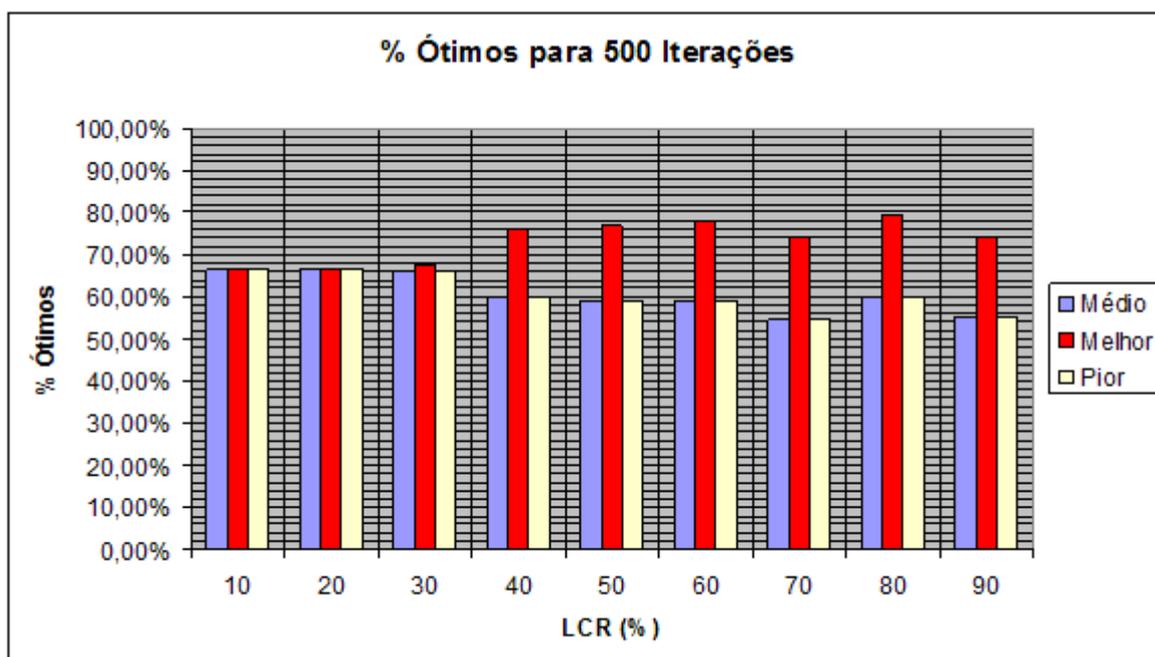


Figura 4.3 - Percentual de soluções encontradas pelo GRASP para o grupo j20mm em 500 iterações

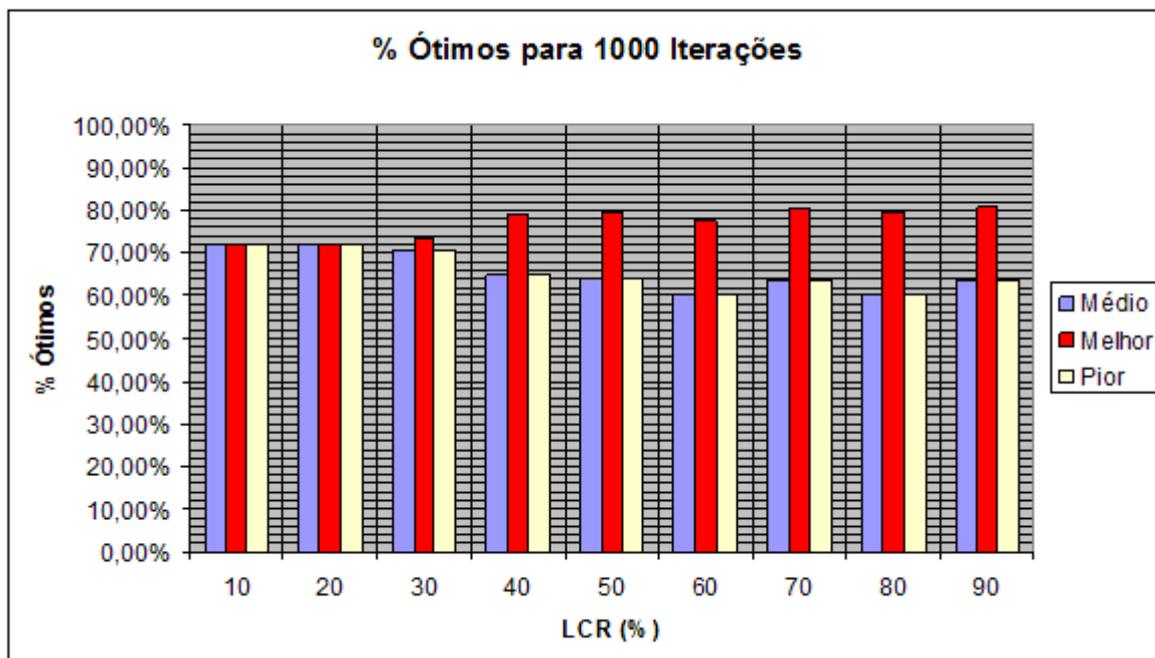


Figura 4.4 - Percentual de soluções encontradas pelo GRASP para o grupo j20mm em 1000 iterações

Considerando esses resultados encontrados, o GRASP foi executado para os grupos de instâncias j10mm, j12mm, j14mm, j16mm, j18mm e j30mm com os seguintes parâmetros:

- 100 iterações, 80% para LCR;
- 250 iterações, 90% para LCR;
- 500 iterações, 80% para LCR; e
- 1000 iterações, 90% para LCR.

Pois esses foram os parâmetros com os melhores resultados para o grupo de testes j20mm utilizado para a calibração dos mesmos. Assim, os resultados do GRASP em cinco execuções do GRASP para os grupos j10mm, j12mm, j14mm, j16mm, j18mm e j30mm são mostrados nas Tabelas 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 e 4.7, respectivamente. As linhas destacadas nas tabelas mostram os melhores resultados do GRASP para cada grupo de instâncias.

Tabela 4.2 – Resultados do GRASP para o grupo j10mm

Iterações	LCR	Desvio Médio	Desvio Máximo	% Ótimos (makespan médio)	% Ótimo (melhor makespan)	% Ótimo (pior makespan)	Tempo médio (s)
100	80	0,09	2,39	77,61%	87,69%	77,61%	0,00
250	90	0,05	1,64	82,09%	88,81%	82,09%	0,00
500	80	0,04	2,24	85,26%	89,37%	85,26%	0,00
1000	90	0,03	1,95	86,38%	90,30%	86,38%	0,18

Tabela 4.3 – Resultados do GRASP para o grupo j12mm

Iterações	LCR	Desvio Médio	Desvio Máximo	% Ótimos (makespan médio)	% Ótimos (melhor makespan)	% Ótimos (pior makespan)	Tempo médio (s)
100	80	0,13	2,61	73,67%	88,85%	73,67%	0,00
250	90	0,07	1,79	80,44%	90,68%	80,44%	0,00
500	80	0,05	1,41	83,73%	91,41%	83,73%	0,01
1000	90	0,03	1,95	88,12%	92,50%	88,12%	0,93

Tabela 4.4 – Resultados do GRASP para o grupo j14mm

Iterações	LCR	Desvio Médio	Desvio Máximo	% Ótimos (makespan médio)	% Ótimos (melhor makespan)	% Ótimos (pior makespan)	Tempo médio (s)
100	80	0,20	2,24	59,71%	80,40%	59,71%	0,00
250	90	0,14	2,35	68,78%	84,57%	68,78%	0,01
500	80	0,09	1,67	74,41%	86,21%	74,41%	0,62
1000	90	0,08	2,17	77,86%	87,66%	77,86%	1,73

Tabela 4.5 – Resultados do GRASP para o grupo j16mm

Iterações	LCR	Desvio Médio	Desvio Máximo	% Ótimos (makespan médio)	% Ótimos (melhor makespan)	% Ótimos (pior makespan)	Tempo médio (s)
100	80	0,23	2,19	55,82%	79,27%	55,82%	0,00
250	90	0,18	1,79	65,27%	84,18%	65,27%	0,01
500	80	0,14	2,70	70,18%	87,64%	70,18%	0,97
1000	90	0,09	1,79	75,82%	90,00%	75,82%	2,43

Tabela 4.6 – Resultados do GRASP para o grupo j18mm

Iterações	LCR	Desvio Médio	Desvio Máximo	% Ótimos (makespan médio)	% Ótimo (melhor makespan)	% Ótimo (pior makespan)	Tempo médio (s)
100	80	0,26	1,95	53,08%	74,28%	53,08%	0,36
250	90	0,15	1,58	65,76%	83,33%	65,76%	1,48
500	80	0,19	2,30	60,33%	81,34%	60,33%	3,17
1000	90	0,13	1,34	71,01%	86,59%	71,01%	7,04

Tabela 4.7 – Resultados do GRASP para o grupo j30mm

Iterações	LCR	Desvio Médio	Desvio Máximo	% Ótimos (makespan médio)	% Ótimo (melhor makespan)	% Ótimo (pior makespan)	Tempo médio (s)
100	80	0,40	2,17	39,49%	52,54%	39,49%	1,12
250	90	0,26	1,92	47,46%	59,96%	47,46%	3,81
500	80	0,32	1,95	43,48%	57,07%	43,48%	8,54
1000	90	0,24	1,52	49,82%	63,95%	49,82%	17,73

## 4.2 RESULTADOS DA LITERATURA

Nessa seção são apresentados os resultados encontrados na literatura. A Tabela 4.8 mostra as heurísticas desenvolvidas por Damak et al. (2009), Hartmann (2001), Bouleimen & Lecocq (2003) e Lozenroni (2003). Os testes foram realizados para as classes de problemas J10, J12, J14, J16, J18 e J20 da PSPLIB, tendo como principal critério de parada a limitação do tempo computacional para a realização da busca. O algoritmo de Hartmann foi executado num computador pessoal 133 MHz, com o tempo de processamento limitado a um segundo, já o algoritmo de Bouleimen & Lecocq foi executado num computador pessoal 100 MHz, com o tempo de processamento limitado a cinco vezes o tamanho da instância do problema e as estratégias propostas por Lorenzoni foram executadas num computador pessoal 1 GHz, com o tempo de processamento limitado a um segundo (Lorenzoni, 2003). Os resultados de Damak *et al.* (2009) foram obtidos em um processador de 3.2GHz com um tempo de processamento limitado a cento e cinquenta milissegundos por tarefa.

Tabela 4.8 – Resultados encontrados na literatura

Heurísticas	Problemas	Desvio Médio	Desvio Máximo	Ótimo
Evolução Diferencial Damak <i>et al.</i> , 2009)	j10mm	0,09%	0,15%	99,30%
Scatter Search (Lorenzoni, 2003)	j10mm	0,04%	10,53%	99,25%
Evolução Diferencial (Lorenzoni, 2003)	j10mm	0,05%	7,10%	99,25%
Algoritmo Genético (Hartmann, 2001)	j10mm	0,06%	6,30%	98,70%
Simulated Annealing (Bouleimen & Lecocq, 2003)	j10mm	0,21%	7,80%	96,30%
Colônia de Formigas (Lorenzoni, 2003)	j10mm	0,32%	11,11%	93,66%
Evolução Diferencial Damak <i>et al.</i> , 2009)	j12mm	0,11%	0,29%	99,30%
Algoritmo Genético (Hartmann, 2001)	j12mm	0,14%	9,10%	97,30%
Evolução Diferencial (Lorenzoni, 2003)	j12mm	0,16%	10,30%	96,90%
Scatter Search (Lorenzoni, 2003)	j12mm	0,15%	10,00%	96,71%
Simulated Annealing (Bouleimen & Lecocq, 2003)	j12mm	0,19%	6,30%	91,20%
Colônia de Formigas (Lorenzoni, 2003)	j12mm	0,55%	12,12%	89,95%
Evolução Diferencial Damak <i>et al.</i> , 2009)	j14mm	0,34%	0,63%	97,60%
Algoritmo Genético (Hartmann, 2001)	j14mm	0,44%	10,30%	89,80%
Scatter Search (Lorenzoni, 2003)	j14mm	0,61%	11,76%	87,11%
Evolução Diferencial (Lorenzoni, 2003)	j14mm	0,60%	17,60%	87,10%
Simulated Annealing (Bouleimen & Lecocq, 2003)	j14mm	0,92%	10,60%	82,60%
Colônia de Formigas (Lorenzoni, 2003)	j14mm	1,40%	40,63%	78,04%
Evolução Diferencial Damak <i>et al.</i> , 2009)	j16mm	0,42%	0,83%	96,38%
Algoritmo Genético (Hartmann, 2001)	j16mm	0,59%	10,50%	87,80%
Scatter Search (Lorenzoni, 2003)	j16mm	0,80%	16,13%	82,91%
Evolução Diferencial (Lorenzoni, 2003)	j16mm	0,93%	16,20%	82,60%
Colônia de Formigas (Lorenzoni, 2003)	j16mm	1,81%	40,54%	74,73%
Simulated Annealing (Bouleimen & Lecocq, 2003)	j16mm	1,43%	12,90%	72,80%
Evolução Diferencial Damak <i>et al.</i> , 2009)	j18mm	0,59%	1,58%	94,43%
Algoritmo Genético (Hartmann, 2001)	j18mm	0,99%	13,30%	78,30%
Scatter Search (Lorenzoni, 2003)	j18mm	1,12%	13,79%	74,64%
Evolução Diferencial (Lorenzoni, 2003)	j18mm	1,49%	15,10%	73,30%
Colônia de Formigas (Lorenzoni, 2003)	j18mm	2,05%	22,22%	71,56%
Simulated Annealing (Bouleimen & Lecocq, 2003)	j18mm	1,85%	11,70%	69,40%
Evolução Diferencial Damak <i>et al.</i> , 2009)	j20mm	0,70%	1,91%	91,75%
Algoritmo Genético (Hartmann, 2001)	j20mm	1,21%	14,20%	73,30%
Scatter Search (Lorenzoni, 2003)	j20mm	1,59%	21,74%	70,04%
Evolução Diferencial (Lorenzoni, 2003)	j20mm	2,09%	21,70%	68,40%
Colônia de Formigas (Lorenzoni, 2003)	j20mm	2,84%	26,67%	67,51%
Simulated Annealing (Bouleimen & Lecocq, 2003)	j20mm	2,10%	13,20%	66,90%

A Tabela 4.9 mostra um resumo dos melhores resultados para os diversos grupos de instâncias encontrados pelo GRASP proposto. A coluna “Iterações” mostra o número de iterações utilizado, a coluna “LCR” o percentual utilizado para a lista de candidatos restrita, a coluna “Instâncias” indica os grupos de instâncias, a coluna

“Desvio Médio” e “Desvio Máximo” são os desvios médios e máximos, respectivamente, entre as cinco execuções com os parâmetros especificados e a coluna “% Ótimos” é o percentual de soluções ótimas que o GRASP encontrou para cada grupo de instâncias.

Tabela 4.9 – Melhores resultados encontrados pelo GRASP

<b>Iterações</b>	<b>LCR</b>	<b>Instâncias</b>	<b>Desvio Médio</b>	<b>Desvio Máximo</b>	<b>% Ótimos</b>
1000	90	j10mm	0,03%	1,95%	90,30%
1000	90	j12mm	0,03%	1,95%	92,50%
1000	90	j14mm	0,08%	2,17%	87,66%
1000	90	j16mm	0,09%	1,79%	90,00%
1000	90	j18mm	0,13%	1,34%	86,59%
1000	90	j20mm	0,16%	1,52%	80,87%

Pode-se notar na Tabela 4.9 que na medida em que o número de atividades aumenta, o resultado encontrado pelo GRASP melhora se comparado cada grupo de testes com os resultados dos outros algoritmos da Tabela 4.8.

Para uma verificação mais detalhada dos resultados encontrados pelo GRASP é mostrado no Anexo 4 os melhores resultados para cada instância de todo o grupo j20mm.

A seguir (Capítulo 5) veremos um estudo de caso onde é aplicado o GRASP no problema de Programação de Manutenção Industrial.

## **5 PROGRAMAÇÃO DE MANUTENÇÃO INDUSTRIAL – ESTUDO DE CASO**

A necessidade de um melhor desempenho operacional nas atividades de coleta, transferência e distribuição de cargas, tem motivado o estabelecimento de procedimentos que garantam a perfeita execução das atividades ligadas com a operação e manutenção de frotas de veículos ou uma manutenção industrial.

A gerência adequada da manutenção pode permitir as empresas otimizarem seus custos e consigam controlar e/ou reduzir as panes e paralisações. Tal procedimento

tem permitido também o aumento da produtividade e a melhoria da qualidade dos serviços.

Para a aplicação do MRCPSp como um problema real, será proposta a Programação de Manutenção de Industrial (Leal Filho, 2003) que consiste em um conjunto de medidas e operações que tem como meta manter os equipamentos em condições adequadas de uso, de modo a evitar problemas que resultem em reparos e no comprometimento técnico, econômico e da segurança. A atividade de manutenção pode ser dividida em: manutenção de operação, manutenção preventiva, manutenção corretiva e reforma. Mais detalhes sobre manutenção podem ser encontradas em Novaes *et al.*, 1997, D'Agosto *et al.* (1999), Novaes *et al.* (1997), e Abrahão e Gualda (2006).

O estudo de caso aqui apresentado está baseado no trabalho de Leal Filho (2003) onde é modelado e implementado uma solução para a programação de manutenção industrial. Os resultados então serão comparados entre a solução proposta pelo autor e o GRASP proposto.

## **5.1 PROGRAMAÇÃO DE MANUTENÇÃO INDUSTRIAL**

Em um ambiente de Manutenção Industrial em uma grande empresa, dada a grande quantidade de equipamentos, componentes, e conseqüentemente frotas ou linha de produção, formadas por esses equipamentos é fundamental que se tenha um esquema para gerenciar a manutenção, normalmente faz-se necessário o uso de sistemas computacionais para um bom gerenciamento de maneira a oferecer um apoio de forma rápida e eficiente. Relativo a esse sistema de manutenção, destaca a necessidade de se administrar os recursos renováveis disponíveis na empresa.

Os recursos renováveis neste sentido encaixam-se os equipamentos de apoio (EA), tais como pontes rolantes, guindastes, tornos, e ferramentas necessárias a execução da atividade. Além, dos recursos humanos (RH), que são as pessoas disponíveis para a execução das tarefas (Leal Filho, 2003).

A programação se torna mais complexa quando existem casos, como o de uma parada para manutenção preventiva de uma usina, por exemplo, em que a

quantidade de serviços a serem realizados e a quantidade de recursos a serem alocados são muito grandes.

O Sistema de Programação de Manutenção de Serviços estudado em Leal Filho (2003) organiza as informações dos serviços a serem executados como cadastro dos equipamentos, componentes, parâmetros de execução e planejamento de trabalhos, planos e procedimentos, que são utilizados para a geração das Ordens de Serviços (OSs) que são de fato, objeto da programação.

As Ordens de Serviços (OS) são documentos utilizados para execução de um serviço de manutenção. O mesmo é criado para um determinado equipamento em uma determinada posição onde o serviço é realizado, e contém, além da descrição do serviço em si, os dados para a execução do mesmo, tais como natureza, situação, prioridade e condição de execução. Os seguintes elementos da OS se destacam:

- Itens da OS: uma ordem de serviço é subdividida em itens (também conhecidos como planejamentos), a fim de distribuir a OS em diferentes posições e/ou turmas que irão executar o serviço. Estes itens possuem a descrição do que deverá ser executado e os seguintes dados para a execução do mesmo:
  - Recursos Humanos (RH): os itens de OS possuem uma relação dos recursos necessários à realização do serviço. Aqui, estamos interessados principalmente aos recursos humanos, que são os recursos cuja utilização estaremos tentando otimizar. É uma relação de especialistas (mecânicos, eletricitas etc.), especificando a quantidade e por quanto tempo cada recurso é necessário.
  - Equipamentos Auxiliares (EA): são ferramentas e outros recursos renováveis utilizados para execução dos serviços. Assim sendo, podem ser programados.

A Figura 5.1 ilustra um exemplo de uma situação real do Sistema de Manutenção da Vale e a Figura 5.2 ilustra a relação de precedência entre as atividades entre as

diversas OSs e entre as atividades da mesma OS (Leal Filho, 2003), que utilizaremos como estudo de caso.

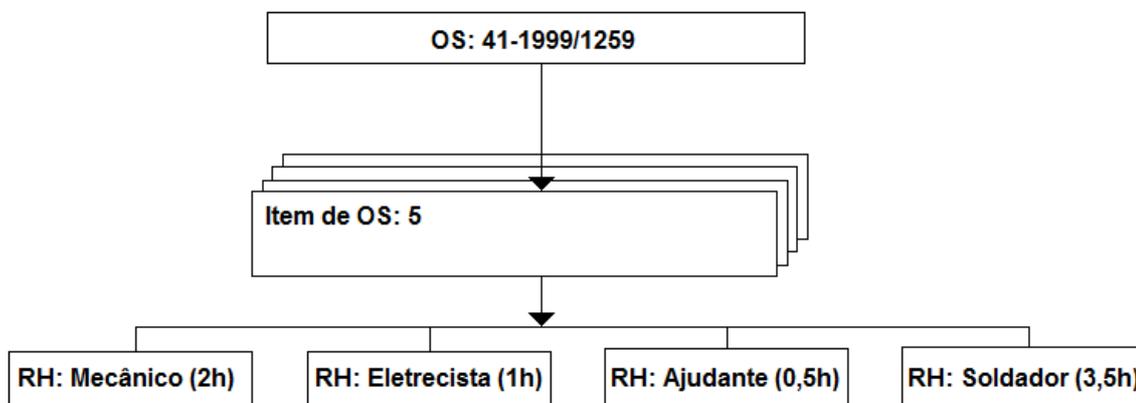


Figura 5.1 – Organização de uma Ordem de Serviço

Fonte: Leal Filho (2003)

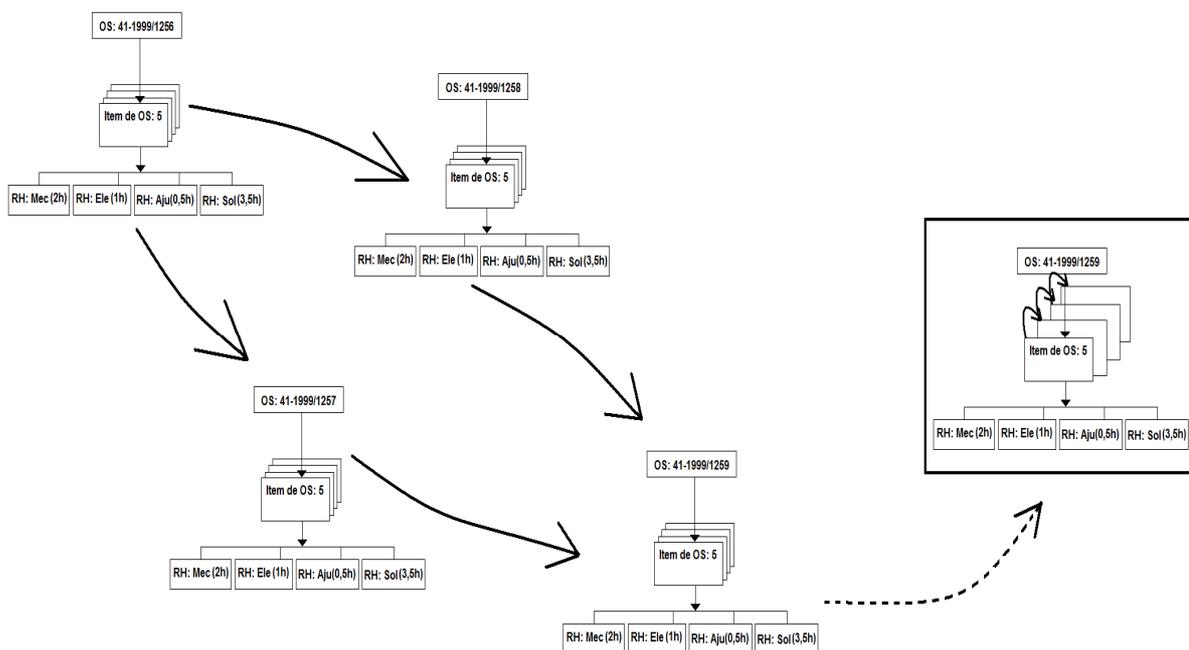


Figura 5.2 – Relação de precedência entre as atividades das OSs e entre as atividades da mesma OS.

Fonte: Leal Filho (2003)

No Anexo 1 (Figura A1.1) pode-se observar uma OS do sistema da Vale.

As turmas de manutenção possuem o seu turno de serviço, que determina a jornada de trabalho de seus integrantes, e cada turma tem uma relação de seus integrantes com suas especialidades.

O exemplo da Tabela 5.1 – ilustra essa situação:

Tabela 5.1 – Uma turma com sua jornada de trabalho

<b>Turma</b>	<b>Trabalha na escala A1</b>		
01	Segunda-feira de 06h-12h	Quarta-feira de 12h-18h	...
->	<b>Relação de Pessoal Alocado:</b>	João	ME (Mecânico)
		José	EL (Eletricista)
		Pedro	AJ (Ajudante)
		Carlos	SD (Soldador)
		Paulo	ME (Mecânico)

Assim, para a programação de uma manutenção, necessita-se programar a execução de um conjunto de OSs, ou Itens de OSs, no tempo, alocando cada especialidade necessária (Mecânico, Eletricista etc.) ao especialista específico, respeitando todas as restrições de precedência, minimizando as esperas entre as alocações de um mesmo recurso (especialista), otimizando assim, o processo de programação dos serviços Leal Filho (2003).

Percebe-se então que existe um número grande de combinações em que estas tarefas (itens da OSs de diversas OSs) podem ser organizadas de modo a se obter uma programação, mesmo que respeitando as precedências e buscando os objetivos. Com o propósito de analisarmos um exemplo com mais detalhes, a Tabela 5.2 contém um exemplo dos dados de uma determinada OS.

Tabela 5.2 – Atividades de uma OS

<b>Atividade</b>	<b>Duração</b>	<b>Precedência</b>	<b>Recurso</b>
1	3	-	Mecânico - ME
2	4	1	Mecânico - ME
3	5	1	Mecânico - ME
4	3	3	Eletricista - EL
5	2	1	Ajudante - AJ
6	7	1	Vulcanizador - VU
7	5	2	Técnico - TE
8	6	4	Engenheiro - EG

Se traçarmos estas atividades em um gráfico, respeitando as necessidades de recursos e considerando aqui a existência de apenas um especialista para cada recurso necessário, obteremos a princípio uma Programação para a OS dada, conforme ilustra a Figura 5.3.

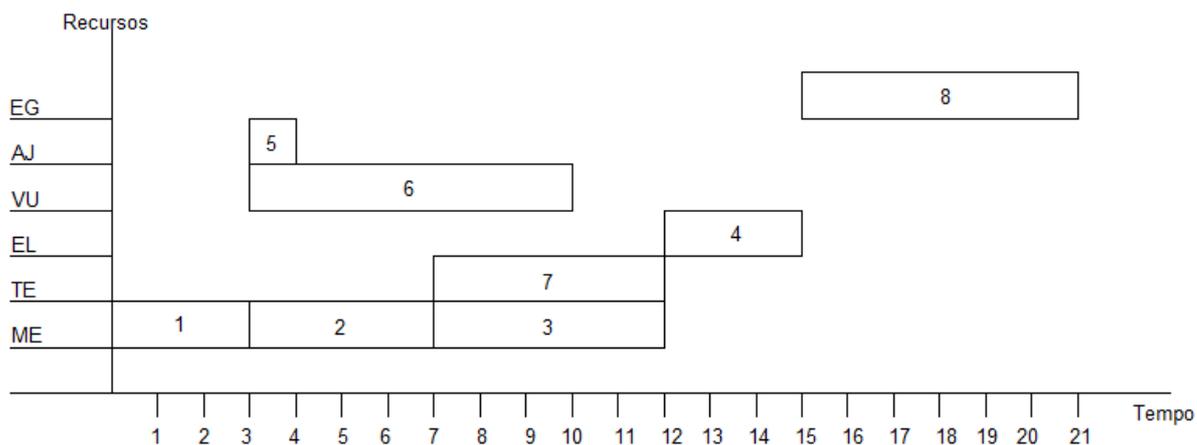


Figura 5.3 - Uma programação para a OS (Tabela 5.2)

Se observarmos na Figura 5.3, temos o caminho crítico composto pelas atividades 1, 2, 3, 4 e 8; e que este tem uma duração de vinte e um, com base nas durações das atividades. Note-se que a atividade 3 somente pode ser alocada após a atividade 2 porque o recurso Mecânico encontra-se ocupado na atividade 2, apesar de poder ter sido alocado após a atividade 1 pela relação de precedência.

Agora, ao alocar a atividade 3 após a 1, e somente depois desta, alocar a 2 (Figura 5.4), podemos observar que com esta simples inversão, alteramos o caminho crítico, obtendo na verdade agora dois caminhos críticos, 1, 3, 4 e 8; ou 1, 3, 2 e 7, ambos nos dando uma programação com duração de dezessete, inferior a duração da programação anterior.

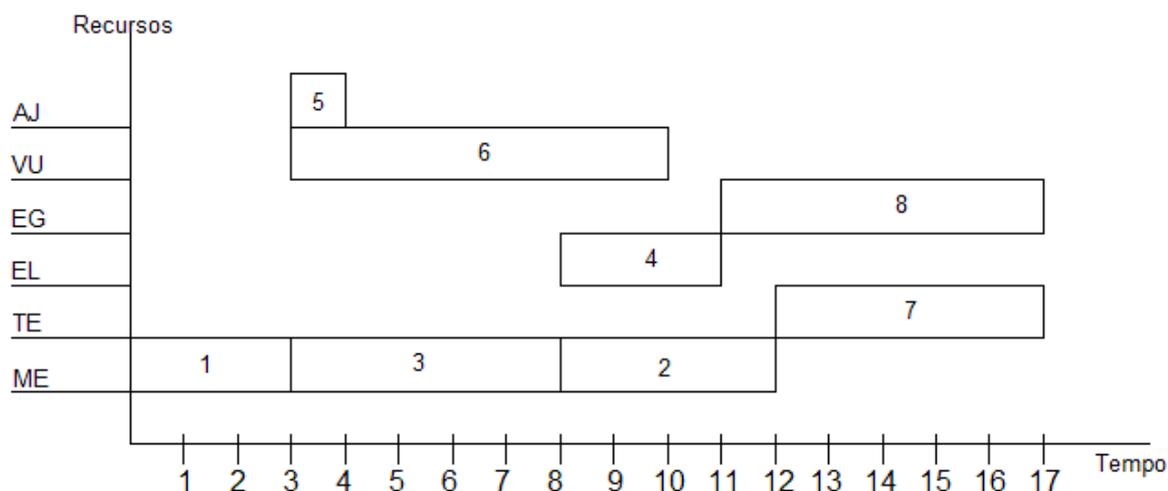


Figura 5.4 – Uma programação melhorada para a OS (ver Tabela 5.2)

Isso nos mostra que uma OS pode ser programada de diversas maneiras, e que, alterando a ordem das atividades, pode ocorrer a redução da duração total do serviço a ser executado.

Na seção 5.2, são apresentados os resultados comparativos do trabalho de Leal Filho (2003) e o GRASP proposto utilizando a instância disponível no trabalho do autor.

## 5.2 TESTES NUMÉRICOS

O estudo de caso apresentado é o ambiente de manutenção da companhia Vale, onde se procura formas alternativas para maximizar o uso dos recursos alocados nos serviços de manutenção além de minimizar o tempo total do projeto.

Leal Filho (2003) propõe um algoritmo do tipo *depth-first branch and bound*, baseados em múltiplos modos, descrito por Sprecher e Drexler (1998, apud Leal Filho, 2003).

No Anexo 2 (Figura A2.1) é mostrado uma programação gerada pelo SISMAN (Sistema de Manutenção da Vale). Nesta programação vemos as OSs e seus recursos necessários, como na Tabela 5.3. O GRASP será executado baseado

nesses dados, para gerar uma programação e assim verificar a solução encontrada pelo GRASP.

Tabela 5.3 – Recursos necessários da Ordem de Serviço

<b>OS</b>	<b>Recursos</b>	<b>Tempo (h) Necessário</b>
2000-65031-5	CA	8
2000-65031-5	SO	8
2001-28765-5	CA	3
2001-28765-5	SO	3
2001-63248-5	CA	4
2001-63248-5	SO	4
2002-6642-5	CA	2
2002-6642-5	SO	2
2002-8762-5	AJ	4
2002-8762-5	TE	4
2002-10615-5	AJ	8
2002-10615-5	TE	8
2002-11367-5	AJ	1
2002-11367-5	ME	1
2002-11926-5	AJ	2
2002-11926-5	ME	2
2002-12023-5	AJ	10
2002-12023-5	ME	5

Na Tabela 5.4, são mostrados os recursos disponíveis e o número de horas disponível, sendo eles: CA (Caldeireiro), SO (Soldador), AJ (Ajudante), TE (Técnico) e ME (Mecânico).

A Tabela 5.4 apresenta um quadro resumo da programação do Anexo 2.

Tabela 5.4 – Quadro resumo da programação

<b>Recursos</b>	<b>Tempo (h) Disponível</b>
AJ	25
CA	17
ME	8
SO	17
TE	12

Na Tabela 5.5 é mostrada a relação de precedência entre as atividades da programação em análise (Anexo 2).

Tabela 5.5 – Precedências das atividades da programação analisada

<b>Atividades</b>	<b>Precedentes</b>	
2000-65031-5		
2001-28765-5	2001-63248-5	
2001-63248-5		
2002-6642-5	2001-63248-5	2001-28765-5
2002-8762-5		
2002-10615-5		
2002-11367-5	2002-10615-5	
2002-11926-5	2002-10615-5	
2002-120023-5		

A programação utiliza 1 ME, 2 AJ, 2 TE, 2 SO e 2 CA. O problema estudado foi modelado como um *single-mode*, mesmo o GRASP sendo implementado para o caso *multi-mode* ele trabalha perfeitamente com o caso *single-mode*. Como para o estudo de caso temos apenas um modo de execução não faz sentido utilização de recursos não renováveis, ou seja, a disponibilidade de tempo de cada especialista é sempre viável, pois todos os recursos (ME, CA, AJ, SO, TE) têm tempo suficiente para executar as demandas das atividades da OS (ver Tabela 5.3 e 5.4). Assim, a lista de atividades, juntamente com o modo de execução (coluna “modo”), tempo de duração (coluna “ $d_j$ ”) e recursos consumidos, de cada uma das tarefas, é mostrada na Tabela 5.6:

Tabela 5.6 – Lista de atividades do estudo de caso com modo, duração e recursos consumidos

<b>Atividade</b>	<b>Modo</b>	<b><math>d_j</math></b>	<b>ME</b>	<b>AJ</b>	<b>TE</b>	<b>CA</b>	<b>SO</b>
2000-65031-5	1	8	0	0	0	1	1
2001-63248-5	1	4	0	0	0	1	1
2002-8762-5	1	4	0	1	1	0	0
2002-10615-5	1	8	0	1	1	0	0
2002-12023-5	1	10	1	1	0	0	0
2001-28765-5	1	3	0	0	0	1	1
2002-11367-5	1	1	1	1	0	0	0
2002-11926-5	1	2	1	1	0	0	0
2002-6642-5	1	2	0	0	0	1	1

A Figura A3.1 (Anexo 3) mostra a instância criada para o GRASP baseada na informações disponíveis sobre o problema em Leal Filho (2003).

### 5.2.1 Resultados Computacionais

O GRASP foi executado com os parâmetros: 1000, para o número de iterações e 20% para o tamanho da LCR. A Figura 5.5 mostra a alocação dos recursos no tempo.

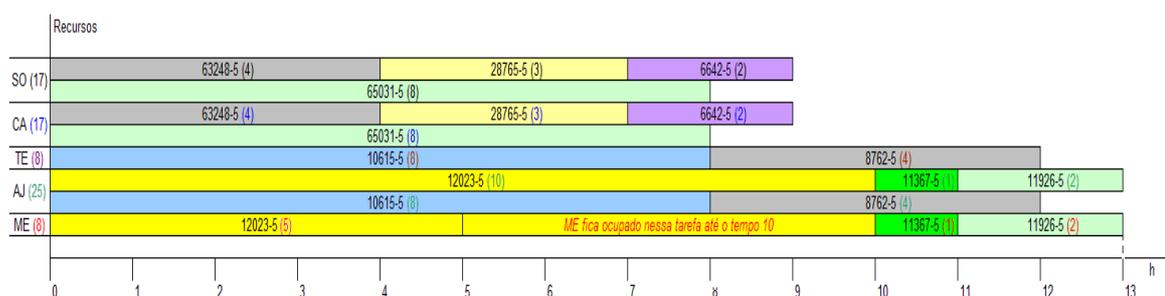


Figura 5.5 – Alocação dos recursos para o caso estudado

Nota-se na Figura 5.5, que o recurso ME fica alocado até o final da atividade 2002-12023-5, mesmo sendo necessário somente 5h de ME para essa atividade. Isso ocorre, pois o modelo de escalonamento utilizado não permite interrupções (*preemption*), assim todos os recursos utilizados por uma tarefa são liberados ao mesmo tempo, ou seja, quando a tarefa é finalizada.

A Figura 5.6 exibe o gráfico de atividades x tempo, do escalonamento encontrado para o projeto em questão.

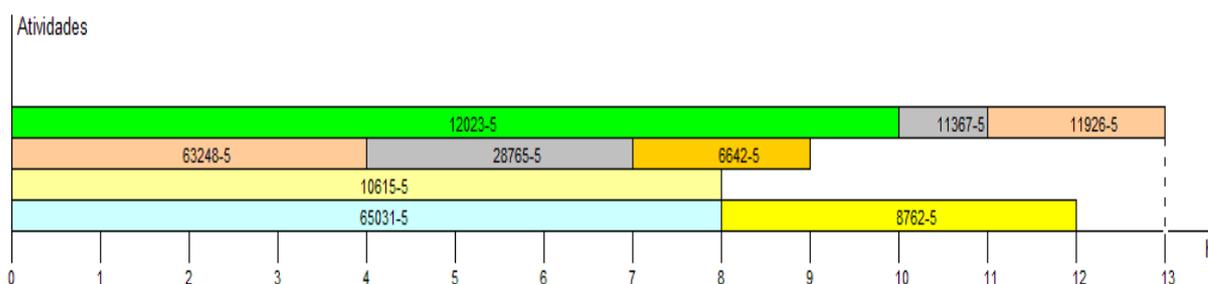


Figura 5.6 – Escalonamento encontrado para o estudo de caso

A Tabela 5.7 mostra a solução encontrada por Leal Filho (2003).

Tabela 5.7 – Resultado encontrado por Leal Filho (2003)

OS	Tempo de início	Tempo de finalização	Especialista
012023-5	0	5	ME
011926-5	10	12	ME
011367-5	12	13	ME
010615-5	0	8	TE
008762-5	8	12	TE
010615-5	0	8	AJ
008762-5	8	12	AJ
011367-5	12	13	AJ
012023-5	0	10	AJ
011926-5	10	12	AJ
065031-5	0	8	CA
063248-5	0	4	CA
028765-5	4	7	CA
006642-5	7	9	CA
063248-5	0	4	SO
028765-5	4	7	SO
006642-5	7	9	SO
065031-5	0	8	SO

Nota-se que a duração para o projeto encontrada pelo GRASP é de 13h (ver Figura 5.6), sendo a mesma encontrada por Leal Filho (2003) e ainda, a solução é a ótima para o problema.

## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES FUTURAS

Como visto, o RCPSP (MRCPSP) é muito interessante do ponto de vista da otimização, pois se trata de um problema de difícil solução. Também por se tratar de um problema muito prático, onde empresas cada vez mais competitivas tentam melhorar seus desempenhos através da otimização de seus processos.

Como os diversos problemas de otimização, vários algoritmos são propostos e na maioria dos casos, heurísticas e metas-heurísticas vêm sendo aplicadas com sucesso na busca de soluções boas em tempos computacionais razoáveis.

No caso do GRASP proposto, apresentou-se interessante para as instâncias de problemas da PSPLIB sendo competitiva em relação aos outros métodos apresentados (ver Tabela 4.8). Além de apresentar um tempo computacional baixo. O GRASP se mostra robusto no sentido de não apresentar uma variação muito grande dentre as execuções.

Em relação ao estudo de caso, o GRASP apresentou um bom resultado se comparando com o proposto por Leal Filho (2003). Mesmo havendo uma dificuldade de conseguir os dados do problema em questão e esse sendo modelado como *single-mode* foi possível ver que sistemas de programação de manutenção e ferramentas de elaboração de projetos em geral, precisam de ferramentas que otimizem os projetos elaborados pelo ser humano, visto que, este é limitado para encontrar um número grande de soluções possíveis para os problemas dessa natureza.

Como trabalhos futuros é possível desenvolver uma fase de pós-otimização utilizando técnicas como Reconexão por Caminho (Tchao, 2007) e Algoritmos Genéticos (Goldberg, 1989, *apud* Tchao, 2007) no sentido de tentar melhorar ainda mais os resultados alcançados, além da aplicação do GRASP a toda base de teste da PSPLIB para verificar o comportamento do mesmo em relação aos diversos grupos de instâncias utilizando configurações de parâmetros diferentes para cada uma delas, pois como dito, nesse trabalho foi utilizado um grupo de instâncias para

calibrar os parâmetros do GRASP e a partir daí, utilizar os melhores parâmetros nos demais grupos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAHÃO, F. T. M.; GUALDA, N. D. F., A Meta-Heurística Colônia de Formigas para Solução do Problema de Programação de Manutenção Preventiva de Frotas de Veículos. Anais do VIII SIGE – Simpósio de Aplicações Operacionais em Áreas de Defesa. Disponível em [http://www.sige.ita.br/VIII\\_SIGE/AO/AO008.pdf](http://www.sige.ita.br/VIII_SIGE/AO/AO008.pdf), 2006.

AHUJA, H. N., 1976, Construction performance control by networks. Wiley, New York.

AIEX, R. M.; BINATO, S.; RESENDE, M. G. C., 2003, Parallel GRASP with path-relinking for job shop scheduling. *Parallel Computing* 29, 393-430.

AKKAN, C., 1998, A lagrangian heuristic for the discrete time-cost tradeoff problem for activity-on-arc project networks, Working paper, Koç University, Istanbul.

AKKAN, C., 1999, Iterated local search algorithms for the discrete time-cost tradeoff problem, Working paper, Koç University, Istanbul.

BANDELLONI, M.; TUCCI, M.; RINALDI, R., 1994, Optimal resource leveling using nonserial dynamic programming. *European Journal of Operational Research* 78, 162-177.

BAROUM, S. M.; PATTERSON, J. H., 1999, An Exact Solution Procedure for Maximizing the Net Present Value. In: J. Węglarz (Ed.), *Handbook on Recent Advances in Project Scheduling*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 107-134.

BARTUSCH, M.; MÖHRING, R. H.; RADERMACHER, F.J., 1988, Scheduling project networks with resource constraints and time windows. *Annals of Operations Research* 16, 201-240.

BLAŻEWICZ, J.; ECKER, K. H.; PESCH, E.; SCHMIDT, G.; WĘGLARZ, J., 1996, *Scheduling Computer and Manufacturing Processes*. Springer Verlag.

BLAŻEWICZ, J.; LENSTRA, J. K.; RINNOOY KAN, A. H. G, 1983, Scheduling subject to resource constraints: Classification and complexity. *Discrete Applied Mathematics*, 5, 11-24.

BOCTOR, F. F., 1993, Heuristics for scheduling projects with resource restrictions and several resource-duration modes. *International Journal of Production Research* 31, 2547-2558.

BOULEIMEN, K.; LECOCQ, H., 2003, A new efficient simulated annealing algorithm for the resource-constrained project scheduling problem. *European Journal of Operational Research* 149, 268-281.

BRINKMANN, K.; NEUMANN, K., 1996, Heuristic procedure for resource-constrained project scheduling with minimal and maximal time lags: The resource-leveling and minimum project duration problems. *Journal of Decision Systems* 5, 129-155.

BRUCKER, P.; DREXL, A.; MÖHRING, R.; NEUMANN, K.; PESCH, E., 1999, Resource-constrained project scheduling: Notation, classification, models, and methods. *European Journal of Operational Research* 112, 3-41.

BRUCKER, P.; KNUST, S.; SCHOO, A.; THIELE, O., 1998, A branch and bound algorithm for the resource-constrained project scheduling problem, *European Journal of Operational Research* 107, 272-288.

BURGESS, A. R.; KILLEBREW, J. B., 1962, Variation in activity level on a cyclical arrow diagram, *Journal of Industrial Engineering* 13, 76-83.

CHRISTOFIDES, N.; ALVAREZ-VALDÉS, R.; TAMARIT, J.M., 1987, Project scheduling with resource constraints: A branch and bound approach. *European Journal of Operational Research* 29, 262-273.

DAMAK, N.; JARBOUI, B.; SIARRY, P.; LOUKIL, T., 2009, Differential evolution for solving multi-mode resource-constrained project scheduling problems, *Computers & Operations Research* 36, p. 2653-2659.

D'AGOSTO, M. A.; KOMAROVA, A. D. H.; SANTOS NETO, N. F., 1999, Programação de Manutenção Preventiva de Veículos - Uma Aplicação para Transporte Rodoviário Urbano. In: *Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional - XXXI SBPO*, Juíz de Fora.

DE REYCK, B., 1998, Scheduling projects with generalized precedence relations: Exact and heuristics procedures. Ph.D. Thesis, Katholieke Universiteit Leuven.

DE REYCK, B.; HERROELEN, W., 1998, An Optimal Procedure for the Resource-constrained Project Scheduling Problem with Discounted Cash Flows and Generalized Precedence Relations. *Computers & Operations Research* 25, 1-17.

DE REYCK, B.; HERROELEN, W., 1999, The multi-mode resource-constrained project scheduling problem with generalized precedence relations, *European Journal of Operational Research* 119, 538-556, 1999.

DEMEULEMEESTER, E. L.; HERROELEN, W. S., 1992, A branch-and-bound procedure for the multiple Resource-constrained Project Scheduling Problem. *Management Science* 38, 1803-1818.

EASA, S. M., 1989, Resource leveling in construction by optimization. *Journal of Construction Engineering and Management* 115, 302-316.

FEO, T. A.; RESENDE, M. G. C., 1995, Greedy Randomized Adaptive Search Procedures. *Journal of Global Optimization* 6, 109-133.

FESTA, P.; RESENDE, M. G. C., 2002, GRASP: An Annotated bibliography. In: Ribeiro, C. C. and Hansen, P. (Ed.). *Essays and Surveys on Metaheuristics*. Kluwer Academic Publishers 2002, 325-367.

Goldberg, D. E., 1989, *Genetic Algorithms in Search, Optimisation and Machine Learning*. Addison-Wesley.

HARRIS, R. B., 1990, Packing method for resource leveling (pack). *Journal of Construction Engineering and Management* 116, 39-43.

HARTMANN, S., 2001, Project Scheduling with multiple modes: a genetic algorithm, *Annals of Operations Research* 102, 111-135.

HEILMANN, R., 2003, A branch-and-bound procedure for the multi-mode resource-constrained project scheduling problem with minimum and maximum time lags, *European Journal of Operational Research* 144, 348-365.

LEAL FILHO, L. A. M., 2003, Modelagem e Otimização em Sistemas de Programação de Manutenção Industrial, Dissertação (Mestrado), Mestrado em Informática, Universidade Federal do Espírito Sando, Vitória-ES, 83 p., 2003.

HERROELEN, W. S.; VAN DOMMELEN, P.; DEMEULEMEESTER, E. L., 1997, Project Network Models with Discounted Cash Flows – A guided tour through recent developments. *European Journal of Operational Research* 100, 97-121.

HERROELEN, W.; DE REYCK, B.; DEMEULEMEESTER, E., 1998, Resource-constrained project scheduling: A survey of recent developments. *Computers & Operations Research* 25, 279-302.

ICMELI, O.; ERENGUC, S.S., 1994, A tabu search procedure for the resource constrained project scheduling problem with discounted cash flows. *Computers & Operations Research* 8, 841-853.

ICMELI, O.; ERENGUC, S.S., 1996, A branch and bound procedure for the resource constrained project scheduling problem with discounted cash flows. *Management Science* 42, 1395-1408.

JACKSON, J. R., 1955, Scheduling a production line to minimize maximum tardiness. *Research Report 43, Management Sci. Res. Project, UCLA.*

JACKSON, J. R., 1956, An extension of Johnson's on job lot scheduling. *Naval Research Logistics Quarterly*. 3, 201-203.

JOHNSON, S.M., 1954, Optimal two and three stage production schedules with setup times included. *Naval Research Logistics Quarterly* 1, 61-68.

JÓZEFOWSKA, J.; MIKA, M.; RÓZYCKI, R.; WALIGÓRA, G.; WĘGLARZ, J., 2001, Simulated Annealing for multi-mode resource-constrained project scheduling, *Annals of Operations Research* 102, 137-155.

KLEIN, R., 2000, *Scheduling of Resource-Constrained Projects*. Kluwer Academic Publishers, London.

KOLISCH, R.; HARTMANN, S., 1998, Heuristic Algorithms for solving the resource-constrained project scheduling problem: Classification and computational analysis. Manuskripte aus den Instituten für Betriebswirtschaftslehre der Universität Kiel, 469.

LAGUNA, M.; MARTÍ, R., 1999, GRASP and Path Relinking for 2-layer straight line crossing minimization. *INFORMS Journal on Computing* 11, 44-52.

LEAL, A. J. S., 2003, Algoritmos de Investigação Operacional para um problema de sequenciamento de projectos. Dissertação (Mestrado), Mestrado em Engenharia, Universidade do Minho, Portugal, 123 p., Disponível em: <http://hdl.handle.net/1822/7957>. Acessado em: 14 mai. 2009.

LEVY, F. K.; THOMPSON, G. L.; WIEST, J. D., 1962, Multiship, Multishop, Workload-Smoothing Program. *Naval Research Logistics Quarterly*, 37-44.

LORENZONI, L. L., 2003. Problema de Escalonamento com Restrição de Recursos e Múltiplos Modos de Processamento: Novos Métodos de Resolução e uma Aplicação no Contexto Portuário. Tese (Doutorado), Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória-ES, 156 p., 2003.

MOODIE, C. L.; MANDEVILLE, D. E., 1966, Project Resource Balancing by Assembly Line Balancing Techniques. *The Journal of Industrial Engineering* 17, 377-383.

NEUMANN, K.; ZIMMERMANN, J., 1997, Resource leveling for projects with schedule dependent time windows. Technical Report WIOR 508, Universität Karlsruhe.

NEUMANN, K.; ZIMMERMANN, J., 1998, Exact and heuristic Procedures for Net Present Value and Resource Leveling in Project Scheduling. Technical Report WIOR 538, Universität Karlsruhe.

NEUMANN, K.; ZIMMERMANN, J., 1999, Methods for resource-constrained project scheduling with regular and non-regular objective functions and schedule-dependent time windows. In: J. Węglarz (Ed.), *Handbook on Recent Advances in Project Scheduling*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 261-288.

NOVAES, A. G.; VALENTE, A. M.; PASSAGLIA, E., 1997, Gerenciamento de Transporte de Cargas. Ed. Pioneira/CNT/IDAC, cap. 7, pp. 107-147, São Paulo, SP.

PATTERSON, J. H.; SLOWIŃSKI, R.; TALBOT, F. B.; WĘGLARZ, J., 1989, An algorithm for a general class of precedence and resource constrained scheduling problems. In: R. Slowiński, J. Węglarz (Eds), *Advances in Project Scheduling*, Elsevier, Amsterdam, 3-28.

PINEDO, M., 1995, *Scheduling – theory, algorithms, and systems*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.

PRAIS M.; RIBEIRO, C. C., 2000, Reactive GRASP: An application to a matrix decomposition problem in TDMA traffic assignment. *INFORMS Journal on Computing* 12, 164-176.

PSPLIB, Project Scheduling Problem Library. Disponível em: <http://129.187.106.231/psplib/>. Acessado em 06 jun. 2009.

RESENDE, M. G. C.; RIBEIRO, C. C., 2003, Greedy randomized adaptive search procedures. In: Glover, F. and Kochenberger, G. (Ed.). *Handbook of Metaheuristics*. Kluwer Academic Publishers 2003, 219-249.

RESENDE, M. G. C.; RIBEIRO, C. C., 2005, GRASP with path-relinking: recent advances and applications. In: Ibaraki, T., Nonobe, K. and Yagiura, M. (Ed.). *Metaheuristics: Progress as Real Problem Solvers*. Kluwer Academic Publishers 2005, 29-63.

RUSSELL, R. A., 1986, A comparison of heuristics for scheduling projects with cash flow and resource restrictions. *Management Science* 32, 1291-1300.

SAVIN, D.; ALKASS, S.; FAZIO, P., 1996, Construct Resource Leveling Using Neural Networks. *Canadian Journal of Civil Engineering* 23, 917-925.

SMITH, W. E., 1956, Various optimizers for single-stage production. *Naval Research Logistics Quarterly* 3, 59-66.

SPRECHER, A., 1994, Resource-Constrained Project Scheduling - Exact Methods for the Multi-Mode Case. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems 409, Springer, Berlin.

SPRECHER, A.; DREXL, A., 1996, Minimal Delaying Alternatives and Semi-Active Timetabling in Resource-Constrained Project Scheduling. Manuskripte aus den Instituten für Betriebswirtschaftslehre 426, University of Kiel.

SPRECHER, A.; DREXL, A., 1998, Multi-mode resource-constrained project scheduling by a single, general and powerful algorithm. European Journal of Operational Research 107, 431-450.

SPRECHER, A.; HARTMANN, S.; DREXL, A., 1997, An exact algorithm for project scheduling with multiple modes. OR Spektrum 19, 195-203.

TAKAMOTO, M.; YAMADA, N.; KOBAYASHI, Y.; NONAKA, H., 1995, Zero-one quadratic programming algorithm for resource leveling of manufacturing process schedule. Systems and Computers in Japan 26, 68-76.

TALBOT, F. B., 1982, Resource-constrained project scheduling with time-resource tradeoffs: The nonpreemptive case. Management Science 28(10), 1197-1210.

TCHAO, C. S., 2007, Heurísticas para o problema de escalonamento de projetos com restrições de recursos. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciência da Computação), Universidade Federal Fluminense. Disponível em: [http://www.bdtd.ndc.uff.br/tde\\_busca/arquivo.php?codArquivo=2322](http://www.bdtd.ndc.uff.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=2322). Acessado em: 14 mai. 2009.

WOODWORTH, B. M.; WILLIE, Ch. J., 1975, A Heuristic Algorithm for Resource Leveling in Multi-Project, Multi-Resource Scheduling. Decision Sciences 6, 525-540.

YANG, B.; GEUNES, J.; O'BRIAN, W. J., 2001, "Resource-constrained project scheduling: past work and new directions", Research Report 2001-6, Department of Industrial and Systems Engineering, University of Florida.

YANG, K. K.; TALBOT, F. B.; PATTERSON J. H., 1993, Scheduling a Project to Maximize its Net Present Value: An Integer Programming Approach. *European Journal of Operational Research* 64, 188-198.

YANG, K. K.; TAY, L. C.; SUM, C. C., 1995, A Comparison of Stochastic Priority Rules for Maximizing Project Net Present Value. *European Journal of Operational Research* 85, 327-339.

YOUNIS, M. A.; SAAD, B., 1996, Optimal resource leveling of multi-resource projects. *Computers and Industrial Engineering* 31, 1-4.

ZIMMERMANN, J., 1997, Heuristics for resource leveling problem in project scheduling with minimum and maximum time lags. Report WIOR-491, Universität Karlsruhe.

## ANEXO 1 – ORDEM DE SERVIÇO

**Equipamento.:** VV03 - VIRADOR DE VAGÕES NR.03  
**Posição.....:** 000000 - VIRADORES DE VAGÕES  
 Sistema.....: DC - DESCARGA

---

Descrição.....: Executar os Tipos/Planos: M/M030.  
 C. de Custo.: 242113 - VIRADOR DE VAGAO 03  
 Situação.....: 36 - AG PROGRAMAÇÃO Natureza.....: MP - PREVENTIVA  
 Prov. Execut.: MM55 - MECANICA VV, AREA VELHA E PENEIR C. Resp.....: S41641  
 Solicitante.: CONTR C. Resp.....: S41010  
 Nome.....: Telefone.....:  
 Cond. Exec.: PD - PARADO DESENERGIZADO Tipo Serv.: M - MECANICO  
 Prioridade.....: - Motivo.....: -  
 Defeito.....: - C. Defeito.: -  
 Data Cadastro :30/01/02 Data Emissão: 30/01/02  
 Data Entrega.: Semana Entr.:

---

Meio Ambiente: Influencia ISO 9000.....: NÃO

----- ATENCAO ----- ATENCAO ----- ATENCAO ----- ATENCAO -----  
 L D E

### ===== SEGURANÇA =====

- A LDE ( LIBERAÇÃO DEVOLUÇÃO DE EQUIPAMENTO ) É NORMA DA  
 EMPRESA PARA GARANTIR SUA SEGURANÇA.

- A UTILIZAÇÃO DOS EPI'S ESPECÍFICOS PARA A REALIZAÇÃO DAS  
 ATIVIDADES É OBRIGATÓRIA POR NORMA DA EMPRESA.

- FAÇA ANÁLISE DE RISCO PARA TODA ATIVIDADE A SER EXECUTADA,

### ===== MEIO AMBIENTE =====

SE NA EXECUÇÃO DESTA ORDEM DE SERVIÇO FOR GERAR RESÍDUOS  
 CONTAMINANTES, TOMA A INICIATIVA DE NÃO DEIXAR QUE OS MESMOS

CONTAMINEM O SOLO, AR OU ÁGUA.  
 CASO ISSO OCORRA, CHAME SEU SUPERVISOR IMEDIATO PARA AS

AÇÕES CORRETIVAS DE DESCONTAMINAÇÃO.  
 AO CONCLUIR O SERVIÇO, RECOLHA TODAS AS FERRAMENTAS,

MATERIAIS E RESÍDUOS ORIUNDOS DA MANUTENÇÃO.

COLABORE COM A COLETA SELETIVA, SEPRE E ACONDICIONE NOS  
 LOCAIS DEVIDOS.

### PLANEJAMENTO 001

Posição.: EMFR01 - CJ FREIO SAP ELETROMAG BRACO EM Situação.....: 36 - AG PROGRAMAÇÃO  
 Turma.....: MM55 - MECANICA VV, AREA VELHA E PENEIRA C. Resp.....: S41641  
 Duração.:  
 Plano.....: M - M030 - MP FREIOS DOS VV'S  
 Descrição: MP FREIOS DOS VV'S

### PLANEJAMENTO ATIVIDADES

Desc	Dur	QtdeUSM	Tp.Med.
001 RETIRAR PROTEÇÃO DO FREIO			00:03
002 ABRIR REGULAGEM DE FREIO			00:04

Figura A1.1 – Exemplo de Ordem de Serviço do SISMAN

003 VERIFICAR DESGASTE DA SAPATA FREIO 00:02  
 004 DESGASTE MÁXIMO PERMITIDO  
 005 VERIFICAR TENSÃO DA MOLA (VIDE TABELA NO FREIO) 00:02  
 006 VERIFICAR ABERTURA ENTRE FERRO (VIDE TABELA NO FREIO) 00:02  
 007 REGULAR ENTRE FERRO E MOLA (VIDE TABELA NO FREIO) 00:15  
 008 REGULAR FREIO 00:10  
 009 COLOCAR PROTEÇÃO FREIO 00:05  
 010 TESTAR 00:05  
 011 .  
 012 RECOMENDAÇÕES DE SEGURANÇA:  
 013 ABRIR LDE  
 014 DAR BAIXA NA LDE APÓS O SERVIÇO

PLANEJAMENTO RECURSOS HUMANOS

Esp	-----Propria-----			-----Contratada-----		
	QtdeH	Tempo	HHora	QtdeH	Tempo	HHora
ME			01	01:10		

PLANEJAMENTO PROVIDENCIAS ADICIONAIS

Desc

RECURSOS NECESSÁRIOS:

01 CAIXA DE FERRAMENTAS  
 01 CHAVE COMBINADA 24 MM  
 01 CHAVE COMBINADA 19 MM  
 01 CHAVE COMBINADA 10 MM  
 01 CHAVE COMBINADA 1.7/8'

PLANEJAMENTO 002

Posição.: EMFR02 - CJ FREIO SAP ELETROMAG EMPURR Situação....: 36 - AG PROGRAMAÇÃO  
 Turma....: MM55 - MECANICA VV, AREA VELHA E PENEIRA C. Resp.....: S41641  
 Duração...:  
 Plano....: M - M030 - MP FREIOS DOS VV'S  
 Descrição: MP FREIOS DOS VV'S

PLANEJAMENTO ATIVIDADES

Vide Planejamento: 001

PLANEJAMENTO RECURSOS HUMANOS

Esp	-----Propria-----			-----Contratada-----		
	QtdeH	Tempo	HHora	QtdeH	Tempo	HHora
ME			01	01:10		

PLANEJAMENTO PROVIDENCIAS ADICIONAIS

Vide Planejamento: 001

PLANEJAMENTO 003

Posição.: GIFR01 - CJ FREIO SAP ELETROMAG GIRO Situação....: 36 - AG PROGRAMAÇÃO  
 Turma....: MM55 - MECANICA VV, AREA VELHA E PENEIRA C. Resp.....: S41641  
 Duração...:  
 Plano....: M - M030 - MP FREIOS DOS VV'S  
 Descrição: MP FREIOS DOS VV'S

PLANEJAMENTO ATIVIDADES

Vide Planejamento: 001

PLANEJAMENTO RECURSOS HUMANOS

Esp	-----Propria-----			-----Contratada-----		
	QtdeH	Tempo	HHora	QtdeH	Tempo	HHora
ME			01	01:10		

PLANEJAMENTO PROVIDENCIAS ADICIONAIS

Vide Planejamento: 001

Figura A1.1 – Exemplo de Ordem de Serviço do SISMAN (continuação)



## ANEXO 3 – INSTÂNCIA DO ESTUDO DE CASO

```

*****
file with basedata      : md323_.bas
initial value random generator: 731688320
*****
projects                : 1
jobs (incl. supersource/sink ): 11
horizon                  : 2520
RESOURCES
- renewable              : 5 R
- nonrenewable          : 0 N
- doubly constrained    : 0 D
*****
PROJECT INFORMATION:
prnr. #jobs rel.date duedate tardcost MPM-Time
  1  9  0  0  0  0
*****
PRECEDENCE RELATIONS:
jobnr. #modes #successors successors
  1    1    5    2 3 4 5 6
  2    1    1    11
  3    1    1    7
  4    1    1    11
  5    1    2    8 9
  6    1    1    11
  7    1    1    10
  8    1    1    11
  9    1    1    11
 10    1    1    11
 11    1    0
*****
jobnr. mode duration R 1 R 2 R 3 R 4 R 5
-----
  1  1  0    0  0  0  0  0
  2  1  8    0  0  0  1  1
  3  1  4    0  0  0  1  1
  4  1  4    0  1  1  0  0
  5  1  8    0  1  1  0  0
  6  1 10    1  1  0  0  0
  7  1  3    0  0  0  1  1
  8  1  1    1  1  0  0  0
  9  1  2    1  1  0  0  0
 10  1  2    0  0  0  1  1
 11  1  0    0  0  0  0  0
*****
RESOURCEAVAILABILITIES:
R 1 R 2 R 3 R 4 R 5
  1  2  2  2  2
*****
# Resumo do projeto.
1 dummy
2 2000-65031-5
3 2001-63248-5
4 2002-8762-5
5 2002-10615-5
6 2002-12023-5
7 2001-28765-5
8 2002-11367-5
9 2002-11926-5
10 2002-6642-5
11 dummy
Recursos
ME =R1 AJ=R2 TE=R3 CA=R4 SO=R5

```

Figura A3.1 – Instância do Estudo de Caso

## ANEXO 4 – MELHORES RESULTADOS ENCONTRADAS PELO GRASP PARA O GRUPO J20mm

A Tabela A4.1 mostra os melhores resultados encontrados pelo GRASP de maneira detalhada para cada instância do grupo j20mm. A coluna “Instâncias” indica a instância do grupo, a coluna “ $C_{m\acute{a}x}$ ” é o *makespan* ótimo da instância, a coluna “t” exibe o tempo de execução do *benchmark* (o *makespan* e o tempo são os disponíveis na PSPLIB), as colunas “Média”, “Melhor” e “Pior” são os resultados médios, melhores e piores de cinco execuções do GRASP para a configuração de parâmetros utilizando 1000 iterações e 90% para LCR, as colunas “%(1)”, “%(2)” e “%(3)” são os erros relativos entre as soluções médias, melhores e piores, respectivamente, encontradas e as disponíveis na PSPLIB, as colunas “Dif(1)”, “Dif(2)” e “Dif(3)” são as diferenças entre as soluções médias, melhores e piores, respectivamente, encontradas e as disponíveis no *benchmark* da PSPLIB, a coluna “T” indica o tempo médio das cinco execuções do GRASP para cada instância e a coluna “Desv” mostra o desvio padrão entre as soluções de cinco execuções do GRASP.

Tabela A4.1 – Detalhamento dos melhores resultados do GRASP para o grupo j20mm, utilizando 1000 iterações e 90% para LCR

Instâncias	$C_{m\acute{a}x}$	t	Média	%(1)	Dif(1)	Melhor	%(2)	Dif(2)	Pior	%(3)	Dif(3)	Desv	T
j2010_1.mm	18	0.38	18,00	0,0%	0,00	18,00	0,0%	0,00	18,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2010_10.mm	28	0.34	28,00	0,0%	0,00	28,00	0,0%	0,00	28,00	0,0%	0,00	0,00	3,00
j2010_2.mm	24	0.41	24,00	0,0%	0,00	24,00	0,0%	0,00	24,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2010_3.mm	20	1.13	20,00	0,0%	0,00	20,00	0,0%	0,00	20,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2010_4.mm	19	20.66	19,40	2,1%	0,40	19,00	0,0%	0,00	20,00	5,3%	1,00	0,55	4,00
j2010_5.mm	22	0.50	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2010_6.mm	25	8.06	26,00	4,0%	1,00	26,00	4,0%	1,00	26,00	4,0%	1,00	0,00	4,00
j2010_7.mm	23	8.47	23,20	0,9%	0,20	23,00	0,0%	0,00	24,00	4,3%	1,00	0,45	5,00
j2010_8.mm	17	0.75	18,20	7,1%	1,20	18,00	5,9%	1,00	19,00	11,8%	2,00	0,45	4,00
j2010_9.mm	22	24.63	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2011_1.mm	21	0.50	21,40	1,9%	0,40	21,00	0,0%	0,00	22,00	4,8%	1,00	0,55	3,00
j2011_10.mm	26	0.50	26,00	0,0%	0,00	26,00	0,0%	0,00	26,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2011_2.mm	18	0.38	18,00	0,0%	0,00	18,00	0,0%	0,00	18,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2011_3.mm	25	1.78	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2011_4.mm	29	2.53	29,00	0,0%	0,00	29,00	0,0%	0,00	29,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2011_5.mm	23	13.78	23,80	3,5%	0,80	23,00	0,0%	0,00	24,00	4,3%	1,00	0,45	3,00
j2011_6.mm	31	1.15	31,00	0,0%	0,00	31,00	0,0%	0,00	31,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2011_7.mm	23	0.50	23,00	0,0%	0,00	23,00	0,0%	0,00	23,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2011_8.mm	19	14.12	19,80	4,2%	0,80	19,00	0,0%	0,00	20,00	5,3%	1,00	0,45	5,00
j2011_9.mm	22	19.75	23,00	4,5%	1,00	23,00	4,5%	1,00	23,00	4,5%	1,00	0,00	3,00
j2012_1.mm	21	6.65	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2012_10.mm	20	0.35	20,00	0,0%	0,00	20,00	0,0%	0,00	20,00	0,0%	0,00	0,00	4,00

j2012_2.mm	19	2.31	19,00	0,0%	0,00	19,00	0,0%	0,00	19,00	0,0%	0,00	0,00	3,00
j2012_3.mm	34	0.88	34,00	0,0%	0,00	34,00	0,0%	0,00	34,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2012_4.mm	19	3.31	19,60	3,2%	0,60	19,00	0,0%	0,00	20,00	5,3%	1,00	0,55	4,00
j2012_5.mm	23	2.56	23,00	0,0%	0,00	23,00	0,0%	0,00	23,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2012_6.mm	20	4.44	20,00	0,0%	0,00	20,00	0,0%	0,00	20,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2012_7.mm	21	0.34	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	0,00	3,00
j2012_8.mm	28	2.03	28,00	0,0%	0,00	28,00	0,0%	0,00	28,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2012_9.mm	32	11.91	32,00	0,0%	0,00	32,00	0,0%	0,00	32,00	0,0%	0,00	0,00	4,20
j2013_1.mm	27	5680.75	29,20	8,1%	2,20	28,00	3,7%	1,00	30,00	11,1%	3,00	0,84	4,00
j2013_10.mm	40	763.03	41,60	4,0%	1,60	41,00	2,5%	1,00	42,00	5,0%	2,00	0,55	6,00
j2013_2.mm	37	1048.56	37,20	0,5%	0,20	37,00	0,0%	0,00	38,00	2,7%	1,00	0,45	4,00
j2013_3.mm	45	311.66	46,40	3,1%	1,40	46,00	2,2%	1,00	47,00	4,4%	2,00	0,55	5,00
j2013_4.mm	39	592.82	40,60	4,1%	1,60	40,00	2,6%	1,00	41,00	5,1%	2,00	0,55	6,00
j2013_5.mm	35	2007.00	36,20	3,4%	1,20	35,00	0,0%	0,00	37,00	5,7%	2,00	0,84	5,00
j2013_6.mm	38	9.63	39,60	4,2%	1,60	39,00	2,6%	1,00	40,00	5,3%	2,00	0,55	4,00
j2013_7.mm	38	477.78	38,00	0,0%	0,00	38,00	0,0%	0,00	38,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2013_8.mm	35	144.97	37,60	7,4%	2,60	36,00	2,9%	1,00	39,00	11,4%	4,00	1,34	5,00
j2013_9.mm	36	222.82	38,20	6,1%	2,20	36,00	0,0%	0,00	40,00	11,1%	4,00	1,48	5,00
j2014_1.mm	25	15.94	26,00	4,0%	1,00	26,00	4,0%	1,00	26,00	4,0%	1,00	0,00	3,00
j2014_10.mm	24	1.12	25,20	5,0%	1,20	25,00	4,2%	1,00	26,00	8,3%	2,00	0,45	4,00
j2014_2.mm	28	49.65	29,40	5,0%	1,40	29,00	3,6%	1,00	30,00	7,1%	2,00	0,55	4,00
j2014_3.mm	22	37.87	22,80	3,6%	0,80	22,00	0,0%	0,00	24,00	9,1%	2,00	0,84	5,00
j2014_4.mm	28	310.81	28,60	2,1%	0,60	28,00	0,0%	0,00	29,00	3,6%	1,00	0,55	5,00
j2014_5.mm	30	9.31	30,60	2,0%	0,60	30,00	0,0%	0,00	31,00	3,3%	1,00	0,55	4,00
j2014_6.mm	20	5.87	21,40	7,0%	1,40	21,00	5,0%	1,00	22,00	10,0%	2,00	0,55	4,00
j2014_7.mm	29	13.22	30,20	4,1%	1,20	30,00	3,4%	1,00	31,00	6,9%	2,00	0,45	4,00
j2014_8.mm	27	31.94	27,00	0,0%	0,00	27,00	0,0%	0,00	27,00	0,0%	0,00	0,00	4,20
j2014_9.mm	26	0.91	28,20	8,5%	2,20	28,00	7,7%	2,00	29,00	11,5%	3,00	0,45	4,00
j2015_1.mm	25	0.35	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	0,00	3,00
j2015_10.mm	24	2.00	24,00	0,0%	0,00	24,00	0,0%	0,00	24,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2015_2.mm	24	3.47	24,00	0,0%	0,00	24,00	0,0%	0,00	24,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2015_3.mm	25	3.03	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2015_4.mm	27	0.47	27,00	0,0%	0,00	27,00	0,0%	0,00	27,00	0,0%	0,00	0,00	3,60
j2015_5.mm	25	0.38	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2015_6.mm	19	0.50	19,60	3,2%	0,60	19,00	0,0%	0,00	20,00	5,3%	1,00	0,55	5,00
j2015_7.mm	26	1.93	26,00	0,0%	0,00	26,00	0,0%	0,00	26,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2015_8.mm	22	2.09	23,40	6,4%	1,40	23,00	4,5%	1,00	24,00	9,1%	2,00	0,55	5,00
j2015_9.mm	21	5.53	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2016_1.mm	24	4.78	24,00	0,0%	0,00	24,00	0,0%	0,00	24,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2016_10.mm	38	0.56	38,00	0,0%	0,00	38,00	0,0%	0,00	38,00	0,0%	0,00	0,00	3,00
j2016_2.mm	24	3.41	24,00	0,0%	0,00	24,00	0,0%	0,00	24,00	0,0%	0,00	0,00	3,00
j2016_3.mm	31	0.69	31,00	0,0%	0,00	31,00	0,0%	0,00	31,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2016_4.mm	36	1.38	36,00	0,0%	0,00	36,00	0,0%	0,00	36,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2016_5.mm	21	1.53	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2016_6.mm	36	2.12	36,00	0,0%	0,00	36,00	0,0%	0,00	36,00	0,0%	0,00	0,00	3,00
j2016_7.mm	25	0.88	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2016_8.mm	28	1.97	28,20	0,7%	0,20	28,00	0,0%	0,00	29,00	3,6%	1,00	0,45	4,00
j2016_9.mm	18	0.50	18,00	0,0%	0,00	18,00	0,0%	0,00	18,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2017_1.mm	17	5.59	17,00	0,0%	0,00	17,00	0,0%	0,00	17,00	0,0%	0,00	0,00	6,00
j2017_10.mm	29	21.38	29,00	0,0%	0,00	29,00	0,0%	0,00	29,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2017_2.mm	36	10.65	36,00	0,0%	0,00	36,00	0,0%	0,00	36,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2017_3.mm	32	6.40	32,00	0,0%	0,00	32,00	0,0%	0,00	32,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2017_4.mm	30	4.97	30,20	0,7%	0,20	30,00	0,0%	0,00	31,00	3,3%	1,00	0,45	5,80
j2017_5.mm	19	0.91	19,00	0,0%	0,00	19,00	0,0%	0,00	19,00	0,0%	0,00	0,00	4,60
j2017_6.mm	36	83.35	36,00	0,0%	0,00	36,00	0,0%	0,00	36,00	0,0%	0,00	0,00	3,00
j2017_7.mm	27	0.97	27,00	0,0%	0,00	27,00	0,0%	0,00	27,00	0,0%	0,00	0,00	6,00
j2017_8.mm	27	0.81	27,00	0,0%	0,00	27,00	0,0%	0,00	27,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2017_9.mm	18	36.97	18,00	0,0%	0,00	18,00	0,0%	0,00	18,00	0,0%	0,00	0,00	6,00
j2018_1.mm	30	0.38	30,00	0,0%	0,00	30,00	0,0%	0,00	30,00	0,0%	0,00	0,00	5,40
j2018_10.mm	27	0.28	27,00	0,0%	0,00	27,00	0,0%	0,00	27,00	0,0%	0,00	0,00	4,00

j2018_2.mm	27	0.32	27,00	0,0%	0,00	27,00	0,0%	0,00	27,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2018_3.mm	20	0.97	20,00	0,0%	0,00	20,00	0,0%	0,00	20,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2018_4.mm	21	1.12	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2018_5.mm	23	0.37	23,00	0,0%	0,00	23,00	0,0%	0,00	23,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2018_6.mm	21	0.34	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2018_7.mm	25	0.32	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2018_8.mm	29	0.44	29,00	0,0%	0,00	29,00	0,0%	0,00	29,00	0,0%	0,00	0,00	6,00
j2018_9.mm	22	0.44	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2019_1.mm	25	0.37	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2019_10.mm	33	266.75	33,00	0,0%	0,00	33,00	0,0%	0,00	33,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2019_2.mm	20	0.37	20,00	0,0%	0,00	20,00	0,0%	0,00	20,00	0,0%	0,00	0,00	6,00
j2019_3.mm	27	0.31	27,00	0,0%	0,00	27,00	0,0%	0,00	27,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2019_4.mm	20	4.00	20,00	0,0%	0,00	20,00	0,0%	0,00	20,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2019_5.mm	23	0.47	23,00	0,0%	0,00	23,00	0,0%	0,00	23,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2019_6.mm	35	0.34	35,00	0,0%	0,00	35,00	0,0%	0,00	35,00	0,0%	0,00	0,00	2,00
j2019_7.mm	30	0.81	30,00	0,0%	0,00	30,00	0,0%	0,00	30,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2019_8.mm	21	0.57	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2019_9.mm	19	0.62	19,00	0,0%	0,00	19,00	0,0%	0,00	19,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2020_1.mm	25	6.50	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2020_10.mm	21	0.66	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	0,00	5,20
j2020_2.mm	29	0.40	29,00	0,0%	0,00	29,00	0,0%	0,00	29,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2020_3.mm	21	0.28	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	0,00	6,00
j2020_4.mm	23	0.60	23,00	0,0%	0,00	23,00	0,0%	0,00	23,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2020_5.mm	20	0.66	20,00	0,0%	0,00	20,00	0,0%	0,00	20,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2020_6.mm	21	0.84	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2020_7.mm	25	5.22	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2020_8.mm	17	2.56	17,00	0,0%	0,00	17,00	0,0%	0,00	17,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2020_9.mm	34	0.34	34,00	0,0%	0,00	34,00	0,0%	0,00	34,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2021_1.mm	33	97.22	33,80	2,4%	0,80	33,00	0,0%	0,00	34,00	3,0%	1,00	0,45	5,00
j2021_10.mm	28	510.40	28,00	0,0%	0,00	28,00	0,0%	0,00	28,00	0,0%	0,00	0,00	6,00
j2021_2.mm	45	1729.28	45,60	1,3%	0,60	45,00	0,0%	0,00	46,00	2,2%	1,00	0,55	5,40
j2021_3.mm	33	334.03	33,00	0,0%	0,00	33,00	0,0%	0,00	33,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2021_4.mm	42	21.87	43,40	3,3%	1,40	43,00	2,4%	1,00	44,00	4,8%	2,00	0,55	4,00
j2021_5.mm	32	149.90	32,00	0,0%	0,00	32,00	0,0%	0,00	32,00	0,0%	0,00	0,00	6,00
j2021_6.mm	26	124.35	27,00	3,8%	1,00	27,00	3,8%	1,00	27,00	3,8%	1,00	0,00	6,00
j2021_7.mm	31	2441.19	32,00	3,2%	1,00	32,00	3,2%	1,00	32,00	3,2%	1,00	0,00	6,00
j2021_8.mm	33	5414.41	34,60	4,8%	1,60	34,00	3,0%	1,00	35,00	6,1%	2,00	0,55	7,20
j2021_9.mm	33	591.56	34,00	3,0%	1,00	34,00	3,0%	1,00	34,00	3,0%	1,00	0,00	7,20
j2022_1.mm	27	0.31	27,00	0,0%	0,00	27,00	0,0%	0,00	27,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2022_10.mm	29	0.40	29,00	0,0%	0,00	29,00	0,0%	0,00	29,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2022_2.mm	30	0.32	31,40	4,7%	1,40	31,00	3,3%	1,00	32,00	6,7%	2,00	0,55	4,00
j2022_3.mm	24	1.72	24,60	2,5%	0,60	24,00	0,0%	0,00	25,00	4,2%	1,00	0,55	5,20
j2022_4.mm	26	188.82	26,40	1,5%	0,40	26,00	0,0%	0,00	27,00	3,8%	1,00	0,55	7,00
j2022_5.mm	24	108.34	24,00	0,0%	0,00	24,00	0,0%	0,00	24,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2022_6.mm	26	0.56	26,00	0,0%	0,00	26,00	0,0%	0,00	26,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2022_7.mm	22	1.94	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2022_8.mm	35	127.31	35,60	1,7%	0,60	35,00	0,0%	0,00	36,00	2,9%	1,00	0,55	5,00
j2022_9.mm	22	0.31	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2023_1.mm	25	0.34	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2023_10.mm	25	0.38	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2023_2.mm	23	0.34	23,00	0,0%	0,00	23,00	0,0%	0,00	23,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2023_3.mm	28	0.72	28,00	0,0%	0,00	28,00	0,0%	0,00	28,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2023_4.mm	25	0.34	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2023_5.mm	22	0.44	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	0,00	4,80
j2023_6.mm	23	0.35	23,00	0,0%	0,00	23,00	0,0%	0,00	23,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2023_7.mm	19	1.41	19,00	0,0%	0,00	19,00	0,0%	0,00	19,00	0,0%	0,00	0,00	6,00
j2023_8.mm	18	0.41	18,00	0,0%	0,00	18,00	0,0%	0,00	18,00	0,0%	0,00	0,00	5,20
j2023_9.mm	17	1.50	17,00	0,0%	0,00	17,00	0,0%	0,00	17,00	0,0%	0,00	0,00	6,00
j2024_1.mm	27	0.94	27,00	0,0%	0,00	27,00	0,0%	0,00	27,00	0,0%	0,00	0,00	3,00
j2024_10.mm	19	1.12	19,00	0,0%	0,00	19,00	0,0%	0,00	19,00	0,0%	0,00	0,00	4,00

j2024_2.mm	31	0.34	31,00	0,0%	0,00	31,00	0,0%	0,00	31,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2024_3.mm	17	0.50	17,00	0,0%	0,00	17,00	0,0%	0,00	17,00	0,0%	0,00	0,00	4,60
j2024_4.mm	26	0.40	26,00	0,0%	0,00	26,00	0,0%	0,00	26,00	0,0%	0,00	0,00	4,20
j2024_5.mm	32	0.53	32,00	0,0%	0,00	32,00	0,0%	0,00	32,00	0,0%	0,00	0,00	3,00
j2024_6.mm	14	0.59	14,00	0,0%	0,00	14,00	0,0%	0,00	14,00	0,0%	0,00	0,00	6,00
j2024_7.mm	19	0.28	19,00	0,0%	0,00	19,00	0,0%	0,00	19,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2024_8.mm	27	0.53	27,00	0,0%	0,00	27,00	0,0%	0,00	27,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2024_9.mm	24	0.43	24,00	0,0%	0,00	24,00	0,0%	0,00	24,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2025_1.mm	37	2.56	37,80	2,2%	0,80	37,00	0,0%	0,00	38,00	2,7%	1,00	0,45	4,00
j2025_10.mm	31	1.19	31,00	0,0%	0,00	31,00	0,0%	0,00	31,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2025_2.mm	21	0.41	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2025_3.mm	21	1.03	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2025_4.mm	24	1.93	24,80	3,3%	0,80	24,00	0,0%	0,00	25,00	4,2%	1,00	0,45	7,00
j2025_5.mm	30	0.72	30,00	0,0%	0,00	30,00	0,0%	0,00	30,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2025_6.mm	26	0.06	26,00	0,0%	0,00	26,00	0,0%	0,00	26,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2025_7.mm	26	0.40	26,00	0,0%	0,00	26,00	0,0%	0,00	26,00	0,0%	0,00	0,00	7,00
j2025_8.mm	18	1.15	18,00	0,0%	0,00	18,00	0,0%	0,00	18,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2025_9.mm	24	0.34	24,80	3,3%	0,80	24,00	0,0%	0,00	25,00	4,2%	1,00	0,45	6,00
j2026_1.mm	22	0.10	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2026_10.mm	43	0.16	43,00	0,0%	0,00	43,00	0,0%	0,00	43,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2026_2.mm	21	0.16	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2026_3.mm	27	0.13	27,00	0,0%	0,00	27,00	0,0%	0,00	27,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2026_4.mm	22	0.13	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	0,00	6,00
j2026_5.mm	26	0.12	26,00	0,0%	0,00	26,00	0,0%	0,00	26,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2026_6.mm	24	0.15	24,00	0,0%	0,00	24,00	0,0%	0,00	24,00	0,0%	0,00	0,00	6,00
j2026_7.mm	16	0.15	16,00	0,0%	0,00	16,00	0,0%	0,00	16,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2026_8.mm	31	0.06	31,00	0,0%	0,00	31,00	0,0%	0,00	31,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2026_9.mm	21	0.13	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2027_1.mm	17	0.06	17,00	0,0%	0,00	17,00	0,0%	0,00	17,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2027_10.mm	21	0.22	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2027_2.mm	22	0.09	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2027_3.mm	23	0.07	23,00	0,0%	0,00	23,00	0,0%	0,00	23,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2027_4.mm	25	0.09	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	0,00	4,80
j2027_5.mm	27	0.12	27,00	0,0%	0,00	27,00	0,0%	0,00	27,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2027_6.mm	21	0.06	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2027_7.mm	26	0.06	26,00	0,0%	0,00	26,00	0,0%	0,00	26,00	0,0%	0,00	0,00	3,80
j2027_8.mm	22	0.25	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2027_9.mm	22	0.06	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	0,00	3,00
j2028_1.mm	22	0.16	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2028_10.mm	25	0.06	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	0,00	3,00
j2028_2.mm	24	0.06	24,00	0,0%	0,00	24,00	0,0%	0,00	24,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2028_3.mm	18	0.25	18,00	0,0%	0,00	18,00	0,0%	0,00	18,00	0,0%	0,00	0,00	6,00
j2028_4.mm	22	0.25	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	0,00	3,20
j2028_5.mm	26	0.19	26,00	0,0%	0,00	26,00	0,0%	0,00	26,00	0,0%	0,00	0,00	6,00
j2028_6.mm	17	0.06	17,00	0,0%	0,00	17,00	0,0%	0,00	17,00	0,0%	0,00	0,00	6,00
j2028_7.mm	25	0.03	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2028_8.mm	18	0.15	18,00	0,0%	0,00	18,00	0,0%	0,00	18,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2028_9.mm	19	0.18	19,00	0,0%	0,00	19,00	0,0%	0,00	19,00	0,0%	0,00	0,00	6,00
j2029_1.mm	36	12.94	37,00	2,8%	1,00	37,00	2,8%	1,00	37,00	2,8%	1,00	0,00	5,00
j2029_10.mm	32	15.31	32,80	2,5%	0,80	32,00	0,0%	0,00	33,00	3,1%	1,00	0,45	6,00
j2029_2.mm	27	5.50	28,00	3,7%	1,00	27,00	0,0%	0,00	29,00	7,4%	2,00	0,71	6,00
j2029_3.mm	34	15.06	35,20	3,5%	1,20	35,00	2,9%	1,00	36,00	5,9%	2,00	0,45	6,00
j2029_4.mm	32	37.00	33,00	3,1%	1,00	33,00	3,1%	1,00	33,00	3,1%	1,00	0,00	5,40
j2029_5.mm	29	34.81	29,20	0,7%	0,20	29,00	0,0%	0,00	30,00	3,4%	1,00	0,45	6,00
j2029_6.mm	38	8.15	38,60	1,6%	0,60	38,00	0,0%	0,00	39,00	2,6%	1,00	0,55	4,00
j2029_7.mm	39	61.31	40,00	2,6%	1,00	40,00	2,6%	1,00	40,00	2,6%	1,00	0,00	6,60
j2029_8.mm	30	2.66	31,00	3,3%	1,00	31,00	3,3%	1,00	31,00	3,3%	1,00	0,00	5,40
j2029_9.mm	39	92.50	39,20	0,5%	0,20	39,00	0,0%	0,00	40,00	2,6%	1,00	0,45	5,00
j203_2.mm	33	126.19	34,20	3,6%	1,20	34,00	3,0%	1,00	35,00	6,1%	2,00	0,45	2,00
j203_5.mm	34	192.75	35,00	2,9%	1,00	35,00	2,9%	1,00	35,00	2,9%	1,00	0,00	4,00

j2030_1.mm	29	0.07	29,00	0,0%	0,00	29,00	0,0%	0,00	29,00	0,0%	0,00	0,00	3,00
j2030_10.mm	30	0.15	30,00	0,0%	0,00	30,00	0,0%	0,00	30,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2030_2.mm	19	0.69	19,00	0,0%	0,00	19,00	0,0%	0,00	19,00	0,0%	0,00	0,00	6,00
j2030_3.mm	25	4.53	26,00	4,0%	1,00	26,00	4,0%	1,00	26,00	4,0%	1,00	0,00	5,00
j2030_4.mm	30	0.47	30,00	0,0%	0,00	30,00	0,0%	0,00	30,00	0,0%	0,00	0,00	6,00
j2030_5.mm	27	2.22	27,00	0,0%	0,00	27,00	0,0%	0,00	27,00	0,0%	0,00	0,00	7,00
j2030_6.mm	34	1.75	34,00	0,0%	0,00	34,00	0,0%	0,00	34,00	0,0%	0,00	0,00	5,20
j2030_7.mm	34	0.47	36,00	5,9%	2,00	36,00	5,9%	2,00	36,00	5,9%	2,00	0,00	5,20
j2030_8.mm	23	0.25	23,00	0,0%	0,00	23,00	0,0%	0,00	23,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2030_9.mm	30	3.44	30,00	0,0%	0,00	30,00	0,0%	0,00	30,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2031_1.mm	25	0.07	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2031_10.mm	30	0.06	30,00	0,0%	0,00	30,00	0,0%	0,00	30,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2031_2.mm	27	0.28	27,00	0,0%	0,00	27,00	0,0%	0,00	27,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2031_3.mm	23	0.15	23,00	0,0%	0,00	23,00	0,0%	0,00	23,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2031_4.mm	26	0.09	26,00	0,0%	0,00	26,00	0,0%	0,00	26,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2031_5.mm	17	0.04	17,00	0,0%	0,00	17,00	0,0%	0,00	17,00	0,0%	0,00	0,00	3,00
j2031_6.mm	23	0.09	23,20	0,9%	0,20	23,00	0,0%	0,00	24,00	4,3%	1,00	0,45	6,00
j2031_7.mm	21	0.15	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2031_8.mm	24	0.03	24,00	0,0%	0,00	24,00	0,0%	0,00	24,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2031_9.mm	32	0.06	32,00	0,0%	0,00	32,00	0,0%	0,00	32,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2032_1.mm	22	0.13	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2032_10.mm	20	0.12	20,00	0,0%	0,00	20,00	0,0%	0,00	20,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2032_2.mm	17	0.06	17,00	0,0%	0,00	17,00	0,0%	0,00	17,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2032_3.mm	26	0.12	26,00	0,0%	0,00	26,00	0,0%	0,00	26,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2032_4.mm	19	0.10	19,00	0,0%	0,00	19,00	0,0%	0,00	19,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2032_5.mm	21	0.06	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2032_6.mm	22	0.18	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	0,00	6,00
j2032_7.mm	19	0.09	19,00	0,0%	0,00	19,00	0,0%	0,00	19,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2032_8.mm	28	0.10	28,00	0,0%	0,00	28,00	0,0%	0,00	28,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2032_9.mm	32	0.06	32,00	0,0%	0,00	32,00	0,0%	0,00	32,00	0,0%	0,00	0,00	3,00
j2033_1.mm	37	997.16	37,40	1,1%	0,40	37,00	0,0%	0,00	38,00	2,7%	1,00	0,55	5,00
j2033_10.mm	48	44.15	49,00	2,1%	1,00	49,00	2,1%	1,00	49,00	2,1%	1,00	0,00	4,00
j2033_2.mm	38	265.16	39,80	4,7%	1,80	39,00	2,6%	1,00	41,00	7,9%	3,00	0,84	4,00
j2033_3.mm	48	46.28	48,80	1,7%	0,80	48,00	0,0%	0,00	49,00	2,1%	1,00	0,45	3,80
j2033_4.mm	28	163.97	29,60	5,7%	1,60	28,00	0,0%	0,00	31,00	10,7%	3,00	1,52	6,00
j2033_5.mm	55	20.19	56,60	2,9%	1,60	56,00	1,8%	1,00	57,00	3,6%	2,00	0,55	3,00
j2033_6.mm	29	293.09	30,20	4,1%	1,20	30,00	3,4%	1,00	31,00	6,9%	2,00	0,45	4,00
j2033_7.mm	44	201.15	45,00	2,3%	1,00	45,00	2,3%	1,00	45,00	2,3%	1,00	0,00	5,00
j2033_8.mm	41	169.56	41,20	0,5%	0,20	41,00	0,0%	0,00	42,00	2,4%	1,00	0,45	5,00
j2033_9.mm	37	531.96	38,20	3,2%	1,20	37,00	0,0%	0,00	39,00	5,4%	2,00	0,84	5,00
j2034_1.mm	43	22.56	43,00	0,0%	0,00	43,00	0,0%	0,00	43,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2034_10.mm	36	28.90	36,00	0,0%	0,00	36,00	0,0%	0,00	36,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2034_2.mm	30	871.47	31,00	3,3%	1,00	30,00	0,0%	0,00	32,00	6,7%	2,00	1,00	4,40
j2034_3.mm	35	21.93	36,00	2,9%	1,00	36,00	2,9%	1,00	36,00	2,9%	1,00	0,00	4,00
j2034_4.mm	34	590.56	34,00	0,0%	0,00	34,00	0,0%	0,00	34,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2034_5.mm	35	604.54	36,80	5,1%	1,80	36,00	2,9%	1,00	37,00	5,7%	2,00	0,45	5,00
j2034_6.mm	36	451.41	37,40	3,9%	1,40	37,00	2,8%	1,00	38,00	5,6%	2,00	0,55	4,40
j2034_7.mm	39	90.56	39,20	0,5%	0,20	39,00	0,0%	0,00	40,00	2,6%	1,00	0,45	4,00
j2034_8.mm	33	309.56	33,00	0,0%	0,00	33,00	0,0%	0,00	33,00	0,0%	0,00	0,00	4,20
j2034_9.mm	32	59.00	32,00	0,0%	0,00	32,00	0,0%	0,00	32,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2035_1.mm	34	76.81	34,00	0,0%	0,00	34,00	0,0%	0,00	34,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2035_10.mm	33	404.72	33,00	0,0%	0,00	33,00	0,0%	0,00	33,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2035_2.mm	28	265.94	32,00	14,3%	4,00	30,00	7,1%	2,00	33,00	17,9%	5,00	1,41	4,00
j2035_3.mm	29	591.16	31,20	7,6%	2,20	30,00	3,4%	1,00	32,00	10,3%	3,00	0,84	4,00
j2035_4.mm	35	123.90	35,40	1,1%	0,40	35,00	0,0%	0,00	37,00	5,7%	2,00	0,89	4,00
j2035_5.mm	31	15.47	32,00	3,2%	1,00	32,00	3,2%	1,00	32,00	3,2%	1,00	0,00	4,00
j2035_6.mm	31	106.97	31,00	0,0%	0,00	31,00	0,0%	0,00	31,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2035_7.mm	31	198.38	32,40	4,5%	1,40	31,00	0,0%	0,00	33,00	6,5%	2,00	0,89	4,00
j2035_8.mm	27	43.88	27,00	0,0%	0,00	27,00	0,0%	0,00	27,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2035_9.mm	35	20.09	35,00	0,0%	0,00	35,00	0,0%	0,00	35,00	0,0%	0,00	0,00	5,00

j2037_1.mm	51	954.44	55,60	9,0%	4,60	55,00	7,8%	4,00	56,00	9,8%	5,00	0,55	5,60
j2037_10.mm	50	2038.62	54,00	8,0%	4,00	54,00	8,0%	4,00	54,00	8,0%	4,00	0,00	5,00
j2037_2.mm	38	430.44	38,80	2,1%	0,80	38,00	0,0%	0,00	40,00	5,3%	2,00	0,84	5,00
j2037_3.mm	44	793.60	45,60	3,6%	1,60	45,00	2,3%	1,00	46,00	4,5%	2,00	0,55	5,00
j2037_4.mm	42	2958.22	44,20	5,2%	2,20	44,00	4,8%	2,00	45,00	7,1%	3,00	0,45	5,00
j2037_5.mm	55	678.00	57,60	4,7%	2,60	57,00	3,6%	2,00	58,00	5,5%	3,00	0,55	5,00
j2037_6.mm	39	4852.44	42,20	8,2%	3,20	42,00	7,7%	3,00	43,00	10,3%	4,00	0,45	6,00
j2037_7.mm	43	2117.85	46,40	7,9%	3,40	46,00	7,0%	3,00	47,00	9,3%	4,00	0,55	6,00
j2037_8.mm	40	672.03	41,00	2,5%	1,00	41,00	2,5%	1,00	41,00	2,5%	1,00	0,00	5,00
j2037_9.mm	42	7956.90	44,20	5,2%	2,20	43,00	2,4%	1,00	45,00	7,1%	3,00	0,84	6,00
j2038_1.mm	32	3718.62	34,20	6,9%	2,20	33,00	3,1%	1,00	35,00	9,4%	3,00	0,84	5,00
j2038_10.mm	46	159.63	48,60	5,7%	2,60	47,00	2,2%	1,00	49,00	6,5%	3,00	0,89	4,00
j2038_2.mm	37	3168.84	39,00	5,4%	2,00	38,00	2,7%	1,00	40,00	8,1%	3,00	0,71	6,00
j2038_3.mm	34	160.40	34,00	0,0%	0,00	34,00	0,0%	0,00	34,00	0,0%	0,00	0,00	5,60
j2038_4.mm	40	555.53	41,00	2,5%	1,00	41,00	2,5%	1,00	41,00	2,5%	1,00	0,00	5,00
j2038_5.mm	41	389.60	43,60	6,3%	2,60	43,00	4,9%	2,00	44,00	7,3%	3,00	0,55	4,00
j2038_6.mm	35	84.78	35,20	0,6%	0,20	35,00	0,0%	0,00	36,00	2,9%	1,00	0,45	4,00
j2038_7.mm	40	2055.87	42,20	5,5%	2,20	41,00	2,5%	1,00	43,00	7,5%	3,00	0,84	5,00
j2038_8.mm	38	75.75	39,00	2,6%	1,00	39,00	2,6%	1,00	39,00	2,6%	1,00	0,00	4,00
j2038_9.mm	44	531.30	45,00	2,3%	1,00	45,00	2,3%	1,00	45,00	2,3%	1,00	0,00	6,00
j2039_1.mm	38	329.35	39,00	2,6%	1,00	39,00	2,6%	1,00	39,00	2,6%	1,00	0,00	4,00
j2039_10.mm	27	130.18	27,40	1,5%	0,40	27,00	0,0%	0,00	28,00	3,7%	1,00	0,55	5,00
j2039_2.mm	39	1298.66	41,60	6,7%	2,60	40,00	2,6%	1,00	43,00	10,3%	4,00	1,34	4,00
j2039_3.mm	38	336.94	40,00	5,3%	2,00	40,00	5,3%	2,00	40,00	5,3%	2,00	0,00	3,80
j2039_4.mm	33	208.88	36,00	9,1%	3,00	36,00	9,1%	3,00	36,00	9,1%	3,00	0,00	4,40
j2039_5.mm	36	112.00	38,00	5,6%	2,00	38,00	5,6%	2,00	38,00	5,6%	2,00	0,00	3,20
j2039_6.mm	51	2.84	51,00	0,0%	0,00	51,00	0,0%	0,00	51,00	0,0%	0,00	0,00	3,40
j2039_7.mm	33	149.41	33,00	0,0%	0,00	33,00	0,0%	0,00	33,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2039_8.mm	33	124.41	35,20	6,7%	2,20	35,00	6,1%	2,00	36,00	9,1%	3,00	0,45	5,00
j2039_9.mm	36	74.03	37,00	2,8%	1,00	37,00	2,8%	1,00	37,00	2,8%	1,00	0,00	4,00
j2040_1.mm	34	706.25	34,20	0,6%	0,20	34,00	0,0%	0,00	35,00	2,9%	1,00	0,45	4,40
j2040_10.mm	34	9.72	34,00	0,0%	0,00	34,00	0,0%	0,00	34,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2040_2.mm	25	56.78	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2040_3.mm	38	332.09	38,00	0,0%	0,00	38,00	0,0%	0,00	38,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2040_4.mm	34	24.18	34,00	0,0%	0,00	34,00	0,0%	0,00	34,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2040_5.mm	40	82.90	40,40	1,0%	0,40	40,00	0,0%	0,00	42,00	5,0%	2,00	0,89	4,00
j2040_6.mm	31	602.50	32,00	3,2%	1,00	32,00	3,2%	1,00	32,00	3,2%	1,00	0,00	5,00
j2040_7.mm	39	322.66	39,00	0,0%	0,00	39,00	0,0%	0,00	39,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2040_8.mm	33	13.81	33,00	0,0%	0,00	33,00	0,0%	0,00	33,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2040_9.mm	35	53.84	35,00	0,0%	0,00	35,00	0,0%	0,00	35,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2041_1.mm	35	44.81	35,80	2,3%	0,80	35,00	0,0%	0,00	36,00	2,9%	1,00	0,45	4,00
j2041_10.mm	33	1366.69	34,00	3,0%	1,00	34,00	3,0%	1,00	34,00	3,0%	1,00	0,00	5,20
j2041_2.mm	30	73.75	30,20	0,7%	0,20	30,00	0,0%	0,00	31,00	3,3%	1,00	0,45	4,80
j2041_3.mm	28	171.15	30,40	8,6%	2,40	29,00	3,6%	1,00	31,00	10,7%	3,00	0,89	7,00
j2041_4.mm	31	368.84	31,40	1,3%	0,40	31,00	0,0%	0,00	32,00	3,2%	1,00	0,55	5,80
j2041_5.mm	28	98.88	28,00	0,0%	0,00	28,00	0,0%	0,00	28,00	0,0%	0,00	0,00	6,00
j2041_6.mm	33	121.47	33,40	1,2%	0,40	33,00	0,0%	0,00	34,00	3,0%	1,00	0,55	6,00
j2041_7.mm	25	60.59	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2041_8.mm	31	71.13	32,20	3,9%	1,20	32,00	3,2%	1,00	33,00	6,5%	2,00	0,45	5,00
j2041_9.mm	28	111.10	28,20	0,7%	0,20	28,00	0,0%	0,00	29,00	3,6%	1,00	0,45	5,00
j2042_1.mm	22	122.16	23,00	4,5%	1,00	23,00	4,5%	1,00	23,00	4,5%	1,00	0,00	5,80
j2042_10.mm	27	1513.28	27,60	2,2%	0,60	27,00	0,0%	0,00	28,00	3,7%	1,00	0,55	5,00
j2042_2.mm	27	237.70	28,00	3,7%	1,00	28,00	3,7%	1,00	28,00	3,7%	1,00	0,00	6,00
j2042_3.mm	29	17.00	29,00	0,0%	0,00	29,00	0,0%	0,00	29,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2042_4.mm	39	31.91	39,00	0,0%	0,00	39,00	0,0%	0,00	39,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2042_5.mm	26	40.84	26,40	1,5%	0,40	26,00	0,0%	0,00	27,00	3,8%	1,00	0,55	5,00
j2042_6.mm	34	30.46	34,00	0,0%	0,00	34,00	0,0%	0,00	34,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2042_7.mm	30	136.31	30,20	0,7%	0,20	30,00	0,0%	0,00	31,00	3,3%	1,00	0,45	4,00
j2042_8.mm	30	52.82	30,00	0,0%	0,00	30,00	0,0%	0,00	30,00	0,0%	0,00	0,00	6,00
j2042_9.mm	30	14.47	30,20	0,7%	0,20	30,00	0,0%	0,00	31,00	3,3%	1,00	0,45	5,60

j2043_1.mm	33	3.28	33,00	0,0%	0,00	33,00	0,0%	0,00	33,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2043_10.mm	28	2.93	28,00	0,0%	0,00	28,00	0,0%	0,00	28,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2043_2.mm	29	38.13	29,00	0,0%	0,00	29,00	0,0%	0,00	29,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2043_3.mm	29	21.10	29,00	0,0%	0,00	29,00	0,0%	0,00	29,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2043_4.mm	21	267.38	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2043_5.mm	28	22.22	28,00	0,0%	0,00	28,00	0,0%	0,00	28,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2043_6.mm	29	16.06	29,00	0,0%	0,00	29,00	0,0%	0,00	29,00	0,0%	0,00	0,00	5,20
j2043_7.mm	21	212.15	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2043_8.mm	26	7.84	26,00	0,0%	0,00	26,00	0,0%	0,00	26,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2043_9.mm	26	101.43	26,00	0,0%	0,00	26,00	0,0%	0,00	26,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2044_1.mm	24	79.09	24,40	1,7%	0,40	24,00	0,0%	0,00	25,00	4,2%	1,00	0,55	3,80
j2044_10.mm	26	5.47	26,00	0,0%	0,00	26,00	0,0%	0,00	26,00	0,0%	0,00	0,00	3,20
j2044_2.mm	28	39.37	28,60	2,1%	0,60	28,00	0,0%	0,00	29,00	3,6%	1,00	0,55	4,00
j2044_3.mm	29	44.59	30,00	3,4%	1,00	30,00	3,4%	1,00	30,00	3,4%	1,00	0,00	5,00
j2044_4.mm	28	59.38	29,20	4,3%	1,20	28,00	0,0%	0,00	30,00	7,1%	2,00	1,10	5,00
j2044_5.mm	26	22.25	26,00	0,0%	0,00	26,00	0,0%	0,00	26,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2044_6.mm	24	64.62	24,00	0,0%	0,00	24,00	0,0%	0,00	24,00	0,0%	0,00	0,00	5,80
j2044_7.mm	29	5.90	29,00	0,0%	0,00	29,00	0,0%	0,00	29,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2044_8.mm	25	9.18	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	0,00	6,00
j2044_9.mm	29	4.68	29,00	0,0%	0,00	29,00	0,0%	0,00	29,00	0,0%	0,00	0,00	5,40
j2045_1.mm	33	10748.19	35,00	6,1%	2,00	33,00	0,0%	0,00	36,00	9,1%	3,00	1,22	9,00
j2045_10.mm	33	578.97	34,40	4,2%	1,40	34,00	3,0%	1,00	35,00	6,1%	2,00	0,55	6,00
j2045_2.mm	36	11579.20	38,80	7,8%	2,80	38,00	5,6%	2,00	40,00	11,1%	4,00	0,84	6,00
j2045_3.mm	39	1389.85	39,80	2,1%	0,80	39,00	0,0%	0,00	40,00	2,6%	1,00	0,45	6,00
j2045_4.mm	32	4028.91	32,80	2,5%	0,80	32,00	0,0%	0,00	33,00	3,1%	1,00	0,45	6,00
j2045_5.mm	38	3390.35	39,20	3,2%	1,20	39,00	2,6%	1,00	40,00	5,3%	2,00	0,45	5,00
j2045_6.mm	36	8.03	37,00	2,8%	1,00	37,00	2,8%	1,00	37,00	2,8%	1,00	0,00	5,00
j2045_7.mm	35	1797.84	37,40	6,9%	2,40	37,00	5,7%	2,00	38,00	8,6%	3,00	0,55	5,00
j2045_8.mm	44	858.75	45,40	3,2%	1,40	44,00	0,0%	0,00	47,00	6,8%	3,00	1,14	5,00
j2045_9.mm	43	105.91	44,00	2,3%	1,00	44,00	2,3%	1,00	44,00	2,3%	1,00	0,00	5,00
j2046_1.mm	33	1293.45	34,80	5,5%	1,80	34,00	3,0%	1,00	35,00	6,1%	2,00	0,45	6,00
j2046_10.mm	29	198.91	30,00	3,4%	1,00	30,00	3,4%	1,00	30,00	3,4%	1,00	0,00	6,00
j2046_2.mm	28	39.16	29,00	3,6%	1,00	29,00	3,6%	1,00	29,00	3,6%	1,00	0,00	5,40
j2046_3.mm	30	481.53	31,40	4,7%	1,40	31,00	3,3%	1,00	32,00	6,7%	2,00	0,55	6,00
j2046_4.mm	31	161.34	31,00	0,0%	0,00	31,00	0,0%	0,00	31,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2046_5.mm	27	616.57	27,80	3,0%	0,80	27,00	0,0%	0,00	28,00	3,7%	1,00	0,45	5,00
j2046_6.mm	31	96.16	32,20	3,9%	1,20	32,00	3,2%	1,00	33,00	6,5%	2,00	0,45	5,00
j2046_7.mm	28	118.03	30,00	7,1%	2,00	30,00	7,1%	2,00	30,00	7,1%	2,00	0,00	5,00
j2046_8.mm	28	227.69	30,00	7,1%	2,00	30,00	7,1%	2,00	30,00	7,1%	2,00	0,00	6,00
j2046_9.mm	28	23.97	28,00	0,0%	0,00	28,00	0,0%	0,00	28,00	0,0%	0,00	0,00	6,00
j2047_1.mm	28	40.72	28,80	2,9%	0,80	28,00	0,0%	0,00	29,00	3,6%	1,00	0,45	5,00
j2047_10.mm	31	228.73	31,20	0,6%	0,20	31,00	0,0%	0,00	32,00	3,2%	1,00	0,45	5,00
j2047_2.mm	20	462.84	21,80	9,0%	1,80	21,00	5,0%	1,00	22,00	10,0%	2,00	0,45	5,00
j2047_3.mm	21	548.56	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2047_4.mm	23	187.13	23,00	0,0%	0,00	23,00	0,0%	0,00	23,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2047_5.mm	26	70.27	27,00	3,8%	1,00	27,00	3,8%	1,00	27,00	3,8%	1,00	0,00	5,00
j2047_6.mm	23	91.25	24,80	7,8%	1,80	24,00	4,3%	1,00	25,00	8,7%	2,00	0,45	5,00
j2047_7.mm	32	59.00	32,20	0,6%	0,20	32,00	0,0%	0,00	33,00	3,1%	1,00	0,45	5,00
j2047_8.mm	20	32.94	20,00	0,0%	0,00	20,00	0,0%	0,00	20,00	0,0%	0,00	0,00	5,20
j2047_9.mm	40	65.07	40,00	0,0%	0,00	40,00	0,0%	0,00	40,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2048_1.mm	24	16.10	24,60	2,5%	0,60	24,00	0,0%	0,00	26,00	8,3%	2,00	0,89	5,00
j2048_10.mm	31	254.65	31,00	0,0%	0,00	31,00	0,0%	0,00	31,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2048_2.mm	25	341.82	25,40	1,6%	0,40	25,00	0,0%	0,00	26,00	4,0%	1,00	0,55	5,00
j2048_3.mm	23	94.02	23,20	0,9%	0,20	23,00	0,0%	0,00	24,00	4,3%	1,00	0,45	5,00
j2048_4.mm	22	266.84	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2048_5.mm	19	107.16	19,00	0,0%	0,00	19,00	0,0%	0,00	19,00	0,0%	0,00	0,00	5,40
j2048_6.mm	32	51.32	32,20	0,6%	0,20	32,00	0,0%	0,00	33,00	3,1%	1,00	0,45	4,00
j2048_7.mm	26	14.05	26,20	0,8%	0,20	26,00	0,0%	0,00	27,00	3,8%	1,00	0,45	5,00
j2048_8.mm	22	112.03	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2048_9.mm	24	22.09	25,20	5,0%	1,20	25,00	4,2%	1,00	26,00	8,3%	2,00	0,45	5,00

j2049_1.mm	25	23.16	25,80	3,2%	0,80	25,00	0,0%	0,00	26,00	4,0%	1,00	0,45	4,00
j2049_10.mm	29	4.34	29,00	0,0%	0,00	29,00	0,0%	0,00	29,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2049_2.mm	35	3.38	35,00	0,0%	0,00	35,00	0,0%	0,00	35,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2049_3.mm	23	52.78	23,40	1,7%	0,40	23,00	0,0%	0,00	24,00	4,3%	1,00	0,55	6,00
j2049_4.mm	38	18.69	38,80	2,1%	0,80	38,00	0,0%	0,00	39,00	2,6%	1,00	0,45	3,00
j2049_5.mm	23	13.87	23,00	0,0%	0,00	23,00	0,0%	0,00	23,00	0,0%	0,00	0,00	5,80
j2049_6.mm	28	2.15	28,00	0,0%	0,00	28,00	0,0%	0,00	28,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2049_7.mm	32	14.09	32,00	0,0%	0,00	32,00	0,0%	0,00	32,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2049_8.mm	24	31.59	24,60	2,5%	0,60	24,00	0,0%	0,00	25,00	4,2%	1,00	0,55	6,00
j2049_9.mm	23	5.50	23,40	1,7%	0,40	23,00	0,0%	0,00	24,00	4,3%	1,00	0,55	5,00
j205_7.mm	42	906.47	44,40	5,7%	2,40	44,00	4,8%	2,00	45,00	7,1%	3,00	0,55	42,60
j2050_1.mm	28	0.72	28,00	0,0%	0,00	28,00	0,0%	0,00	28,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2050_10.mm	29	0.80	29,00	0,0%	0,00	29,00	0,0%	0,00	29,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2050_2.mm	23	5.03	23,00	0,0%	0,00	23,00	0,0%	0,00	23,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2050_3.mm	23	3.50	23,00	0,0%	0,00	23,00	0,0%	0,00	23,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2050_4.mm	19	23.84	19,00	0,0%	0,00	19,00	0,0%	0,00	19,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2050_5.mm	29	0.91	29,00	0,0%	0,00	29,00	0,0%	0,00	29,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2050_6.mm	22	2.87	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	0,00	3,00
j2050_7.mm	16	3.96	16,00	0,0%	0,00	16,00	0,0%	0,00	16,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2050_8.mm	24	1.05	24,00	0,0%	0,00	24,00	0,0%	0,00	24,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2050_9.mm	28	23.46	28,00	0,0%	0,00	28,00	0,0%	0,00	28,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2051_1.mm	19	3.07	19,00	0,0%	0,00	19,00	0,0%	0,00	19,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2051_10.mm	21	0.53	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2051_2.mm	25	2.31	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	0,00	4,20
j2051_3.mm	19	5.40	19,20	1,1%	0,20	19,00	0,0%	0,00	20,00	5,3%	1,00	0,45	5,00
j2051_4.mm	22	4.22	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2051_5.mm	28	8.95	28,00	0,0%	0,00	28,00	0,0%	0,00	28,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2051_6.mm	22	1.44	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2051_7.mm	19	6.19	19,00	0,0%	0,00	19,00	0,0%	0,00	19,00	0,0%	0,00	0,00	5,40
j2051_8.mm	25	4.46	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2051_9.mm	22	0.75	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	0,00	5,20
j2052_1.mm	19	5.03	19,00	0,0%	0,00	19,00	0,0%	0,00	19,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2052_10.mm	25	0.97	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	0,00	4,20
j2052_2.mm	23	2.91	23,00	0,0%	0,00	23,00	0,0%	0,00	23,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2052_3.mm	24	1.53	24,00	0,0%	0,00	24,00	0,0%	0,00	24,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2052_4.mm	21	38.68	21,40	1,9%	0,40	21,00	0,0%	0,00	22,00	4,8%	1,00	0,55	4,00
j2052_5.mm	22	10.00	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2052_6.mm	20	1.69	20,00	0,0%	0,00	20,00	0,0%	0,00	20,00	0,0%	0,00	0,00	4,40
j2052_7.mm	25	2.00	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2052_8.mm	27	1.40	27,00	0,0%	0,00	27,00	0,0%	0,00	27,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2052_9.mm	19	4.78	19,00	0,0%	0,00	19,00	0,0%	0,00	19,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2053_1.mm	31	555.59	31,40	1,3%	0,40	31,00	0,0%	0,00	32,00	3,2%	1,00	0,55	5,80
j2053_10.mm	34	368.43	35,20	3,5%	1,20	35,00	2,9%	1,00	36,00	5,9%	2,00	0,45	6,00
j2053_2.mm	49	567.96	49,00	0,0%	0,00	49,00	0,0%	0,00	49,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2053_3.mm	39	2572.84	39,80	2,1%	0,80	39,00	0,0%	0,00	40,00	2,6%	1,00	0,45	6,00
j2053_4.mm	30	590.62	30,60	2,0%	0,60	30,00	0,0%	0,00	31,00	3,3%	1,00	0,55	6,00
j2053_5.mm	30	260.90	31,00	3,3%	1,00	31,00	3,3%	1,00	31,00	3,3%	1,00	0,00	6,00
j2053_6.mm	29	3518.25	29,60	2,1%	0,60	29,00	0,0%	0,00	30,00	3,4%	1,00	0,55	5,00
j2053_7.mm	35	279.78	36,00	2,9%	1,00	36,00	2,9%	1,00	36,00	2,9%	1,00	0,00	6,00
j2053_8.mm	36	653.38	36,00	0,0%	0,00	36,00	0,0%	0,00	36,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2053_9.mm	31	128.50	32,40	4,5%	1,40	32,00	3,2%	1,00	33,00	6,5%	2,00	0,55	5,00
j2054_1.mm	30	3.60	30,00	0,0%	0,00	30,00	0,0%	0,00	30,00	0,0%	0,00	0,00	4,20
j2054_10.mm	20	4.57	20,00	0,0%	0,00	20,00	0,0%	0,00	20,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2054_2.mm	21	9.06	21,20	1,0%	0,20	21,00	0,0%	0,00	22,00	4,8%	1,00	0,45	5,80
j2054_3.mm	26	82.37	26,00	0,0%	0,00	26,00	0,0%	0,00	26,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2054_4.mm	28	0.50	29,00	3,6%	1,00	29,00	3,6%	1,00	29,00	3,6%	1,00	0,00	5,00
j2054_5.mm	23	6.62	24,60	7,0%	1,60	24,00	4,3%	1,00	25,00	8,7%	2,00	0,55	5,00
j2054_6.mm	33	927.00	34,00	3,0%	1,00	34,00	3,0%	1,00	34,00	3,0%	1,00	0,00	6,60
j2054_7.mm	25	9.10	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2054_8.mm	25	61.12	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	0,00	5,40

j2054_9.mm	25	20.53	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2055_1.mm	24	4.41	24,00	0,0%	0,00	24,00	0,0%	0,00	24,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2055_10.mm	28	0.97	28,00	0,0%	0,00	28,00	0,0%	0,00	28,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2055_2.mm	21	0.38	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2055_3.mm	26	8.31	26,60	2,3%	0,60	26,00	0,0%	0,00	27,00	3,8%	1,00	0,55	5,60
j2055_4.mm	25	5.90	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2055_5.mm	19	6.75	19,00	0,0%	0,00	19,00	0,0%	0,00	19,00	0,0%	0,00	0,00	6,00
j2055_6.mm	26	2.78	26,00	0,0%	0,00	26,00	0,0%	0,00	26,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2055_7.mm	24	0.41	24,00	0,0%	0,00	24,00	0,0%	0,00	24,00	0,0%	0,00	0,00	3,80
j2055_8.mm	23	1.44	23,00	0,0%	0,00	23,00	0,0%	0,00	23,00	0,0%	0,00	0,00	4,40
j2055_9.mm	20	4.62	20,00	0,0%	0,00	20,00	0,0%	0,00	20,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2056_1.mm	24	1.12	24,00	0,0%	0,00	24,00	0,0%	0,00	24,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2056_10.mm	23	12.25	23,40	1,7%	0,40	23,00	0,0%	0,00	24,00	4,3%	1,00	0,55	5,00
j2056_2.mm	28	0.59	28,00	0,0%	0,00	28,00	0,0%	0,00	28,00	0,0%	0,00	0,00	4,80
j2056_3.mm	24	1.87	24,00	0,0%	0,00	24,00	0,0%	0,00	24,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2056_4.mm	25	6.34	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	0,00	5,60
j2056_5.mm	20	1.07	20,00	0,0%	0,00	20,00	0,0%	0,00	20,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2056_6.mm	21	0.53	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	0,00	4,80
j2056_7.mm	24	4.53	24,00	0,0%	0,00	24,00	0,0%	0,00	24,00	0,0%	0,00	0,00	4,40
j2056_8.mm	26	1.94	26,00	0,0%	0,00	26,00	0,0%	0,00	26,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2056_9.mm	23	0.88	23,00	0,0%	0,00	23,00	0,0%	0,00	23,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2057_1.mm	21	4.56	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	0,00	6,00
j2057_10.mm	35	0.37	35,00	0,0%	0,00	35,00	0,0%	0,00	35,00	0,0%	0,00	0,00	3,00
j2057_2.mm	20	0.47	20,40	2,0%	0,40	20,00	0,0%	0,00	21,00	5,0%	1,00	0,55	5,00
j2057_3.mm	21	0.40	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2057_4.mm	36	3.09	36,00	0,0%	0,00	36,00	0,0%	0,00	36,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2057_5.mm	24	0.25	24,00	0,0%	0,00	24,00	0,0%	0,00	24,00	0,0%	0,00	0,00	5,20
j2057_6.mm	20	0.59	20,00	0,0%	0,00	20,00	0,0%	0,00	20,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2057_7.mm	26	0.22	26,00	0,0%	0,00	26,00	0,0%	0,00	26,00	0,0%	0,00	0,00	6,00
j2057_8.mm	33	26.16	33,00	0,0%	0,00	33,00	0,0%	0,00	33,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2057_9.mm	28	0.97	28,00	0,0%	0,00	28,00	0,0%	0,00	28,00	0,0%	0,00	0,00	7,00
j2058_1.mm	37	0.10	37,00	0,0%	0,00	37,00	0,0%	0,00	37,00	0,0%	0,00	0,00	3,00
j2058_10.mm	23	0.31	23,00	0,0%	0,00	23,00	0,0%	0,00	23,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2058_2.mm	25	0.10	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2058_3.mm	29	0.09	29,00	0,0%	0,00	29,00	0,0%	0,00	29,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2058_4.mm	22	0.12	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2058_5.mm	20	0.06	20,00	0,0%	0,00	20,00	0,0%	0,00	20,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2058_6.mm	20	0.07	20,00	0,0%	0,00	20,00	0,0%	0,00	20,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2058_7.mm	29	0.16	29,00	0,0%	0,00	29,00	0,0%	0,00	29,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2058_8.mm	27	0.06	27,00	0,0%	0,00	27,00	0,0%	0,00	27,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2058_9.mm	16	0.12	16,00	0,0%	0,00	16,00	0,0%	0,00	16,00	0,0%	0,00	0,00	6,00
j2059_1.mm	26	0.60	26,00	0,0%	0,00	26,00	0,0%	0,00	26,00	0,0%	0,00	0,00	4,60
j2059_10.mm	26	0.16	26,00	0,0%	0,00	26,00	0,0%	0,00	26,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2059_2.mm	25	0.03	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2059_3.mm	25	0.06	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2059_4.mm	22	0.10	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2059_5.mm	30	0.10	30,00	0,0%	0,00	30,00	0,0%	0,00	30,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2059_6.mm	32	0.06	32,00	0,0%	0,00	32,00	0,0%	0,00	32,00	0,0%	0,00	0,00	3,60
j2059_7.mm	20	0.15	20,00	0,0%	0,00	20,00	0,0%	0,00	20,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2059_8.mm	22	0.09	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	0,00	5,20
j2059_9.mm	27	0.07	27,00	0,0%	0,00	27,00	0,0%	0,00	27,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j206_3.mm	37	1293.06	37,00	0,0%	0,00	37,00	0,0%	0,00	37,00	0,0%	0,00	0,00	2,00
j2060_1.mm	18	0.06	18,00	0,0%	0,00	18,00	0,0%	0,00	18,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2060_10.mm	30	0.07	30,00	0,0%	0,00	30,00	0,0%	0,00	30,00	0,0%	0,00	0,00	6,00
j2060_2.mm	22	0.12	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	0,00	3,00
j2060_3.mm	23	0.03	23,00	0,0%	0,00	23,00	0,0%	0,00	23,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2060_4.mm	24	0.09	24,00	0,0%	0,00	24,00	0,0%	0,00	24,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2060_5.mm	21	0.06	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2060_6.mm	23	0.25	23,00	0,0%	0,00	23,00	0,0%	0,00	23,00	0,0%	0,00	0,00	6,00
j2060_7.mm	28	0.09	28,00	0,0%	0,00	28,00	0,0%	0,00	28,00	0,0%	0,00	0,00	3,00

j2060_8.mm	16	0.19	16,00	0,0%	0,00	16,00	0,0%	0,00	16,00	0,0%	0,00	0,00	6,00
j2060_9.mm	20	0.13	20,00	0,0%	0,00	20,00	0,0%	0,00	20,00	0,0%	0,00	0,00	6,00
j2061_1.mm	37	0.56	37,00	0,0%	0,00	37,00	0,0%	0,00	37,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2061_10.mm	31	4.19	31,60	1,9%	0,60	31,00	0,0%	0,00	32,00	3,2%	1,00	0,55	5,00
j2061_2.mm	36	1.13	37,00	2,8%	1,00	37,00	2,8%	1,00	37,00	2,8%	1,00	0,00	5,00
j2061_3.mm	31	15.47	31,20	0,6%	0,20	31,00	0,0%	0,00	32,00	3,2%	1,00	0,45	6,00
j2061_4.mm	27	3.03	27,00	0,0%	0,00	27,00	0,0%	0,00	27,00	0,0%	0,00	0,00	6,00
j2061_5.mm	25	57.47	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	25,00	0,0%	0,00	0,00	7,00
j2061_6.mm	31	9.56	31,40	1,3%	0,40	31,00	0,0%	0,00	32,00	3,2%	1,00	0,55	5,00
j2061_7.mm	38	23.72	38,80	2,1%	0,80	38,00	0,0%	0,00	39,00	2,6%	1,00	0,45	5,00
j2061_8.mm	32	146.62	32,80	2,5%	0,80	32,00	0,0%	0,00	33,00	3,1%	1,00	0,45	6,00
j2061_9.mm	31	7.19	32,80	5,8%	1,80	32,00	3,2%	1,00	33,00	6,5%	2,00	0,45	7,00
j2062_1.mm	28	2.59	28,80	2,9%	0,80	28,00	0,0%	0,00	29,00	3,6%	1,00	0,45	5,60
j2062_10.mm	26	0.16	26,00	0,0%	0,00	26,00	0,0%	0,00	26,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2062_2.mm	27	5.19	27,80	3,0%	0,80	27,00	0,0%	0,00	28,00	3,7%	1,00	0,45	5,00
j2062_3.mm	32	1.72	32,00	0,0%	0,00	32,00	0,0%	0,00	32,00	0,0%	0,00	0,00	6,20
j2062_4.mm	22	4.38	23,00	4,5%	1,00	23,00	4,5%	1,00	23,00	4,5%	1,00	0,00	5,00
j2062_5.mm	20	1.35	20,60	3,0%	0,60	20,00	0,0%	0,00	21,00	5,0%	1,00	0,55	6,00
j2062_6.mm	17	6.81	18,00	5,9%	1,00	18,00	5,9%	1,00	18,00	5,9%	1,00	0,00	5,20
j2062_7.mm	23	0.03	23,00	0,0%	0,00	23,00	0,0%	0,00	23,00	0,0%	0,00	0,00	6,20
j2062_8.mm	18	0.06	18,40	2,2%	0,40	18,00	0,0%	0,00	19,00	5,6%	1,00	0,55	5,00
j2062_9.mm	23	21.06	23,40	1,7%	0,40	23,00	0,0%	0,00	24,00	4,3%	1,00	0,55	5,00
j2063_1.mm	27	0.06	27,00	0,0%	0,00	27,00	0,0%	0,00	27,00	0,0%	0,00	0,00	6,00
j2063_10.mm	15	0.16	15,00	0,0%	0,00	15,00	0,0%	0,00	15,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2063_2.mm	26	0.06	26,00	0,0%	0,00	26,00	0,0%	0,00	26,00	0,0%	0,00	0,00	4,20
j2063_3.mm	30	0.16	30,00	0,0%	0,00	30,00	0,0%	0,00	30,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2063_4.mm	27	0.07	27,00	0,0%	0,00	27,00	0,0%	0,00	27,00	0,0%	0,00	0,00	3,00
j2063_5.mm	35	0.03	35,00	0,0%	0,00	35,00	0,0%	0,00	35,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2063_6.mm	29	0.03	29,00	0,0%	0,00	29,00	0,0%	0,00	29,00	0,0%	0,00	0,00	3,20
j2063_7.mm	36	0.13	36,00	0,0%	0,00	36,00	0,0%	0,00	36,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2063_8.mm	21	0.06	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2063_9.mm	20	0.06	20,00	0,0%	0,00	20,00	0,0%	0,00	20,00	0,0%	0,00	0,00	6,00
j2064_1.mm	21	0.13	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	21,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2064_10.mm	22	0.07	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2064_2.mm	23	0.07	23,00	0,0%	0,00	23,00	0,0%	0,00	23,00	0,0%	0,00	0,00	6,00
j2064_3.mm	23	0.03	23,00	0,0%	0,00	23,00	0,0%	0,00	23,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2064_4.mm	19	0.07	19,00	0,0%	0,00	19,00	0,0%	0,00	19,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2064_5.mm	26	0.13	26,00	0,0%	0,00	26,00	0,0%	0,00	26,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2064_6.mm	19	0.06	19,00	0,0%	0,00	19,00	0,0%	0,00	19,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2064_7.mm	19	0.06	19,00	0,0%	0,00	19,00	0,0%	0,00	19,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j2064_8.mm	35	0.06	35,00	0,0%	0,00	35,00	0,0%	0,00	35,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j2064_9.mm	20	0.12	20,00	0,0%	0,00	20,00	0,0%	0,00	20,00	0,0%	0,00	0,00	4,80
j207_3.mm	31	55.41	31,00	0,0%	0,00	31,00	0,0%	0,00	31,00	0,0%	0,00	0,00	4,00
j209_1.mm	28	2.25	28,60	2,1%	0,60	28,00	0,0%	0,00	29,00	3,6%	1,00	0,55	4,00
j209_10.mm	24	7.91	24,00	0,0%	0,00	24,00	0,0%	0,00	24,00	0,0%	0,00	0,00	6,00
j209_2.mm	23	107.88	25,60	11,3%	2,60	25,00	8,7%	2,00	27,00	17,4%	4,00	0,89	4,60
j209_3.mm	22	2.35	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	22,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j209_5.mm	34	65.38	34,20	0,6%	0,20	34,00	0,0%	0,00	35,00	2,9%	1,00	0,45	4,00
j209_6.mm	26	31.13	27,40	5,4%	1,40	27,00	3,8%	1,00	28,00	7,7%	2,00	0,55	5,00
j209_7.mm	30	4.25	32,60	8,7%	2,60	32,00	6,7%	2,00	33,00	10,0%	3,00	0,55	3,20
j209_8.mm	18	1.19	18,00	0,0%	0,00	18,00	0,0%	0,00	18,00	0,0%	0,00	0,00	5,00
j209_9.mm	21	1.62	22,00	4,8%	1,00	22,00	4,8%	1,00	22,00	4,8%	1,00	0,00	3,80

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)