

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA  
*PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA***

**WESTLEY BATISTA DE JESUS**

**PROCEDIMENTOS HEURÍSTICOS PARA O PROBLEMA DE  
ESCALONAMENTO DE PROJETOS COM RESTRIÇÃO DE  
RECURSOS E MÚLTIPLOS MODOS DE PROCESSAMENTO: UMA  
APLICAÇÃO NA ELABORAÇÃO DO CRONOGRAMA DE  
MODERNIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE UMA REDE DE AGÊNCIAS  
BANCÁRIAS**

**VITÓRIA – ESPÍRITO SANTO  
AGOSTO-2009**

# **Livros Grátis**

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

Milhares de livros grátis para download.

**WESTLEY BATISTA DE JESUS**

**PROCEDIMENTOS HEURÍSTICOS PARA O PROBLEMA DE  
ESCALONAMENTO DE PROJETOS COM RESTRIÇÃO DE  
RECURSOS E MÚLTIPLOS MODOS DE PROCESSAMENTO:  
UMA APLICAÇÃO NA ELABORAÇÃO DO CRONOGRAMA DE  
MODERNIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE UMA REDE DE AGÊNCIAS  
BANCÁRIAS**

Projeto de dissertação apresentado ao curso de Mestrado em Informática do Programa de Pós-Graduação em Informática da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Informática.

Orientadores:

Arlindo Gomes de Alvarenga  
Hannu Tapio Ahonen

**VITÓRIA – ESPÍRITO SANTO  
AGOSTO-2009**

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)  
(Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

---

J58p Jesus, Westley Batista de, 1981-  
Procedimentos heurísticos para o problema de  
escalonamento de projetos com restrição de recursos e múltiplos  
modos de processamento : uma aplicação na elaboração do  
cronograma de atualização tecnológica de uma rede de agências  
bancárias / Westley Batista de Jesus. – 2009.  
84 f. : il.

Orientadores: Arlindo Gomes de Alvarenga, Hannu Tapio  
Ahonen.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Espírito  
Santo, Centro Tecnológico.

1. Otimização combinatória. 2. Simulated annealing  
(Matemática). 3. Programação heurística. 4. Metaheurística. I.  
Alvarenga, Arlindo Gomes de. II. Ahonen, Hannu Tapio. III.  
Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Tecnológico. IV.  
Título.

CDU: 004

---

Westley Batista de Jesus

**PROCEDIMENTOS HEURÍSTICOS PARA O PROBLEMA DE  
ESCALONAMENTO DE PROJETOS COM RESTRIÇÃO DE  
RECURSOS E MÚLTIPLOS MODOS DE PROCESSAMENTO:  
UMA APLICAÇÃO NA ELABORAÇÃO DO CRONOGRAMA DE  
MODERNIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE UMA REDE DE AGÊNCIAS  
BANCÁRIAS**

Dissertação submetida ao Corpo Docente do Programa de Pós-graduação em Informática da Universidade Federal do Espírito Santo como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Informática.

---

Professor Arlindo Gomes de Alvarenga  
UFES – Universidade Federal do Espírito Santo

---

Professor Hannu Tapio Ahonen  
UFES – Universidade Federal do Espírito Santo

---

Professor Renato Antonio Krohling  
UFES – Universidade Federal do Espírito Santo

---

Professor Dr. Samuel Vieira Conceição  
UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

**VITÓRIA – ESPÍRITO SANTO  
AGOSTO-2009**

## RESUMO

O problema de escalonamento de projetos com restrição de recursos e múltiplos modos de processamento, em inglês *multi-mode resource-constrained project scheduling problem (MMRCPSP)*, é uma extensão do problema de escalonamento de projetos com restrição de recursos, *resource-constrained project scheduling problem (RCPSP)*, onde as atividades devem ser executadas em um dos seus modos disponíveis, respeitando suas restrições de precedência e disponibilidade dos recursos renováveis e não renováveis.

A inerente dificuldade da resolução do problema, dada a sua complexidade, junto com a sua grande aplicabilidade prática, pois diversos problemas de várias áreas podem ser resolvidos via *MMRCPSP*, tem atraído a atenção de pesquisadores que vem desenvolvendo vários métodos para a resolução do mesmo.

Neste trabalho dois procedimentos de resolução foram propostos, um baseado na metaheurística *Simulated Annealing* (Recozimento Simulado) e o outro em *Variable Neighborhood Search* (Busca em Vizinhança Variável), testando-os com as instâncias da biblioteca PSPLIB para se verificar a qualidade das respostas obtidas.

## **ABSTRACT**

The multi-mode resource constrained project scheduling problem (MMRCPSP), is an extension of the resource constrained project scheduling problem (RCPSP), where the activities should be implemented in one of their modes, respecting their precedence and resource constraints.

The difficulty of solving the problem, due to its complexity, together with its great practical applicability, because several problem of various areas can be solved by MMRCPSP, have attracted the attention of researchers which has developed several methods to solve the same.

In this work two procedures have been proposed, one based on the metaheuristic Simulated Annealing (Simulated Annealing) and the other on Variable Neighborhood Search (Search in Variable Neighborhood), testing them, with instances of the library PSPLIB to verify the quality of the results

À minha esposa, Elaine Cruz, aos meus pais,  
José de Jesus e Sônia Maria Batista de Jesus  
e aos familiares, sem vocês nada teria sentido.



## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente à Deus.

Aos mestres prof. Arlindo Gomes de Alvarenga e Hannu Tapio Ahonen, pelos conhecimentos transmitidos, pela paciência e dedicação e por me mostrarem o maravilhoso mundo da pesquisa. Serei eternamente grato.

À minha esposa, Elaine Cruz, pela dedicação, pelo companheirismo e por sempre acreditar no meu potencial e por ser essa pessoa especial que Deus colocou na minha vida.

Aos meus pais, pelo apoio e amor incondicional, pelos incentivos e também pelas cobranças necessárias.

Aos meus familiares.

Ao amigo Gildásio Lecchi Cravo, pelas dificuldades em conjunto superadas, pelas dicas preciosas de implementação e pelos momentos de convívio que tivemos nessa fase de nossas vidas.

E a todos que de forma direta ou indireta contribuíram para a conclusão deste trabalho.

“Você não sabe o quanto eu  
caminhei, para chegar até aqui...”

Toni Garrido

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação gráfica de uma rede de atividade em nó.....	16
Figura 2 - Representação de um escalonamento viável em precedência .....	22
Figura 3 - Escalonamento parcial da instância J307_8 da PSPLIB.....	28
Figura 4 - Pseudocódigo do Simulated Annealing.....	32
Figura 5 - Pseudocódigo do Simulated Annealing Implementado .....	33
Figura 6 – Geração de um vizinho de atividade .....	35
Figura 7 – Geração de um vizinho de Modo .....	35
Figura 8 – Percentual de <i>makespan</i> obtidos para os valores de $\alpha$ e $T$ .....	38
Figura 9 - Pseudocódigo de um VNS .....	39
Figura 10 - Exemplo de uma estrutura de Vizinhança utilizada.....	41
Figura 11 – Rede de atividade em nó da instância CENTRO2 .....	58
Figura 12 - Gráfico de comparação dos resultados do estudo de caso .....	59

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Instância com 10 atividades não fictícias .....	17
Tabela 2 - Definições do MMRCPS .....	18
Tabela 3 - Instância com modos de atividades inviáveis.....	26
Tabela 4 - Instância com modos ineficientes.....	27
Tabela 5 - Instância J307_8 .....	29
Tabela 6 - Consumo dos recursos não renováveis da atividade 17 da instância J307_8 .....	30
Tabela 7 - Consumo dos recursos não renováveis no modo 0 da atividade 9 da instância J307_8 .....	30
Tabela 8 - Menores consumos de recursos não renováveis .....	31
Tabela 9 - Resultados obtidos pelo SA com T igual a 100 e diversos valores para $\alpha$ .	36
Tabela 10 - Resultados obtidos pelo SA com T igual a 75 e diversos valores para $\alpha$ .	37
Tabela 11 - Resultados obtidos pelo SA com T igual a 50 e diversos valores para $\alpha$ .	37
Tabela 12 – Resultados obtidos para os três limites da busca local .....	41
Tabela 13 - Resultados obtidos pelo VNS com o conjunto J20 para as diferentes quantidades de iterações .....	42
Tabela 14 - Quantidade de instâncias com soluções viáveis .....	44
Tabela 15 - Resultados obtidos pelo SA para todos os conjuntos de instâncias da PSPLIB.....	45
Tabela 16 - Resultados obtidos pelo VNS para todos os conjuntos de instâncias da PSPLIB.....	45
Tabela 17 - Resultados de outros trabalhos para o conjunto J10 .....	46
Tabela 18 - Resultados de outros trabalhos para o conjunto J12 .....	47
Tabela 19 - Resultados de outros trabalhos para o conjunto J14 .....	47
Tabela 20 - Resultados de outros trabalhos para o conjunto J16 .....	48
Tabela 21 - Resultados de outros trabalhos para o conjunto J18 .....	48
Tabela 22 - Resultados de outros trabalhos para o conjunto J20 .....	49
Tabela 23 - Classificação das agências quanto a sua localização geográfica e tamanho .....	54
Tabela 24 - Grupos de agências da região centro .....	55

Tabela 25 - Grupos de agências da região norte .....	55
Tabela 26 - Grupos de agências da região sul.....	56
Tabela 27 – Informações das instâncias do estudo de caso.....	57
Tabela 28 - Descrição das atividades da instância CENTRO2 .....	57
Tabela 29 - Resultados obtidos.....	59
Tabela 30 - Percentual de melhoria obtido pela utilização ferramenta proposta no estudo de caso .....	60
Tabela 31 - Instância Norte 1 .....	66
Tabela 32 - Instância Norte 2 .....	67
Tabela 33 - Instância Norte 3 .....	68
Tabela 34 - Instância Norte 4 .....	70
Tabela 35 - Instância Norte 5 .....	71
Tabela 36 - Instância Centro 1 .....	73
Tabela 37 - Instância Centro 2 .....	75
Tabela 38 - Instância Centro 3 .....	76
Tabela 39 - Instância Centro 4 .....	77
Tabela 40 - - Instância Centro 5.....	78
Tabela 41 - Instância Sul 1.....	80
Tabela 42 - Instância Sul 2.....	82
Tabela 43 - Instância Sul3.....	84

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	O PROBLEMA DE ESCALONAMENTO DE PROJETOS COM RESTRIÇÃO DE RECURSOS E MÚLTIPLOS MODOS DE EXECUÇÃO.....	15
2.1	INTRODUÇÃO.....	15
2.2	MODELO MATEMÁTICO.....	18
2.3	MÉTODOS DE RESOLUÇÃO.....	20
3	PROCEDIMENTOS CONSTRUTIVOS PARA GERAÇÃO DE UM ESCALONAMENTO.....	22
3.1	REGRAS DE SELEÇÃO DAS ATIVIDADES.....	23
3.2	MÉTODO DE ATRIBUIÇÃO DE MODO.....	24
3.3	CÁLCULO DOS TEMPOS DE INÍCIO E TÉRMINO DAS ATIVIDADES.....	24
3.4	MÉTODOS PARA ACELERAÇÃO DA OBTENÇÃO DE UM ESCALONAMENTO COMPLETO.....	25
3.5	SOBRAS DOS RECURSOS NÃO RENOVÁVEIS.....	27
3.6	SOLUÇÃO INICIAL.....	31
4	APLICAÇÃO DO SIMULATED ANNEALING.....	32
4.1	O SIMULATED ANNEALING PARA O MMRCPS.....	33
4.2	PERTURBAÇÃO DO ESCALONAMENTO.....	34
4.3	GERAÇÃO DO VIZINHO DE MODO.....	35
4.4	CALIBRAÇÃO DOS PARÂMETROS PARA O <i>SIMULATED ANNEALING</i> .....	36
5	UM PROCEDIMENTO DE BUSCA EM VIZINHANÇA VARIÁVEL.....	39
5.1	O VNS PARA O MMRCPS.....	40
5.2	ESTRUTURAS DE VIZINHANÇA.....	40
5.3	BUSCA LOCAL DO VNS.....	41
5.4	CALIBRAÇÃO DOS PARÂMETROS PARA O VNS.....	42
6	RESULTADOS COMPUTACIONAIS E DISCUSSÕES.....	44
7	ESTUDO DE CASO: ELABORAÇÃO DE UM CRONOGRAMA DE ATIVIDADES DE UM PROJETO DE MODERNIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE UMA REDE DE AGÊNCIAS BANCÁRIAS.....	50
7.1	INTRODUÇÃO.....	50
7.2	O PROJETO DE MODERNIZAÇÃO TECNOLÓGICA.....	51
7.3	GERAÇÃO DOS DADOS.....	53

7.4	RESULTADOS COMPUTACIONAIS.....	58
8	CONCLUSÃO .....	61
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
10	ANEXO 1 .....	65

## 1 INTRODUÇÃO

Um projeto pode ser definido como um conjunto de atividades que devem ser executadas em um tempo finito, de forma a se alcançar um objetivo que pode ser a criação de um novo produto ou um novo serviço, como exemplo pode-se citar uma obra de engenharia, a confecção de um produto manufaturado ou a criação de um serviço a ser ofertado. Nas organizações empresariais projetos têm ganhando cada vez mais importância, sendo isto comprovado pelo fato das empresas possuírem equipes de funcionários destinados somente ao gerenciamento destes.

O clássico problema de escalonamento de projetos com restrição de recursos *RCPSP* (*Resource-Constrained Project Scheduling Problem*) é aquele onde as atividades do projeto são escalonadas, ou seja, lhes são atribuídas tempos de início, respeitando-se as restrições de precedências e as restrições de recursos, de forma a, geralmente, minimizar o tempo total de duração do projeto (Christofides et al., 1987). À extensão do RCPSP onde as atividades devem ser executadas em um, e somente um, dos seus modos disponíveis, é dado o nome de Problema de Escalonamento de Projeto com Restrição de Recursos e Múltiplos Modos de Processamento *MMRCPSP* (*Multi-Mode Resource-Constrained Project Scheduling Problem*).

O *RCPSP* é reconhecidamente um problema *NP*-difícil (Błażewicz et al., 1983) assim a complexidade de resolução deste e as suas aplicações práticas atraem a atenção dos pesquisadores que continuam a estudar e desenvolver novos métodos de resolução, já tendo sido utilizadas várias abordagens como métodos de relaxação, algoritmos exatos e heurísticos.

O foco de estudo deste trabalho é o *MMRCPSP* sendo propostos dois procedimentos, um baseado em *Simulated Annealing* (*SA*) e outro em *Variable Neighborhood Search* (*VNS*), que foram implementados e testados com as



instâncias existentes na biblioteca de problemas testes PSPLIB<sup>1</sup>, usado como base de teste pela maioria dos trabalhos já publicados sobre o assunto.

Após os testes com os procedimentos é realizado um estudo de caso com um projeto de modernização tecnológica de uma rede de agências bancária. Através da implementação deste projeto, essa rede espera obter uma série de benefícios, como por exemplo, uma maior eficiência operacional, redução de custos e racionalização de despesas. O projeto é composto de várias atividades como: o levantamento da infraestrutura atual e da quantidade de ativos de uma agência, a atualização da velocidade dos *links* de comunicação de dados entre as unidades, entre outras posteriormente citadas. Vários recursos restringidos, como por exemplo, a equipe de funcionários envolvida e o montante financeiro disponibilizado são considerados. Assim com as informações sobre as atividades, precedências e recursos envolvidos no projeto, é proposta uma ferramenta, com base nos procedimentos propostos, para a criação do cronograma de realização dessas atividades.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: após a introdução no capítulo 1, é feita uma revisão do *MMRCPS* no capítulo 2. Nos capítulos 3 e 4 são apresentadas os procedimentos propostos, *Simulated Annealing* e *Variable Neighborhood Search*. No capítulo 5 é apresentado o estudo de caso e no capítulo 6 são apresentadas as conclusões e considerações finais.

---

<sup>1</sup> *Project Scheduling Problem Library*

## 2 O PROBLEMA DE ESCALONAMENTO DE PROJETOS COM RESTRIÇÃO DE RECURSOS E MÚLTIPLOS MODOS DE EXECUÇÃO

### 2.1 INTRODUÇÃO

É assumido que um projeto é constituído de um conjunto  $T$  de atividades, onde para efeito de simplificação são inseridas duas atividades fictícias 1 e  $N$ , representando respectivamente o início e o fim do projeto, (Brucker et al., 1999). Frequentemente utiliza-se uma rede de atividade em nó para representar graficamente o problema, como no exemplo da Figura 1, onde os nós representam as atividades e os arcos as relações de precedência entre elas.

Além das atividades e das relações de precedências, existe ainda um conjunto de recursos disponíveis necessários à execução das tarefas, que podem ser classificados, de acordo com a sua natureza, em renováveis, não-renováveis e duplamente restritos, (Brucker et al., 1999). Os recursos renováveis são assim classificados por serem disponibilizados por períodos, eles são consumidos pelas atividades durante o tempo em que a mesma está em execução e devolvidos ao montante disponível quando do término da execução. Como exemplo destes pode-se citar um trabalhador qualificado ou um maquinário especializado. Os recursos não-renováveis são aqueles que são disponíveis, em uma quantidade total, durante todo o horizonte de realização do projeto e que quando consumido por uma atividade, a quantidade consumida não retorna ao montante disponível, como exemplo deste tipo de recurso pode-se citar os insumos necessários à fabricação de um bem em uma manufatura ou o capital destinado à execução do projeto. Recursos duplamente restritos são aqueles restringidos em cada período do projeto bem como horizonte de realização e podem ser representados através de um recurso renovável e outro não renovável e que, portanto não serão explicitamente considerados, (Brucker et al., 1999). Os conjuntos dos recursos renováveis e não-renováveis serão representados por  $R^r$  e  $R^n$ , respectivamente. Também,  $R^r_k$  e  $R^n_k$  representarão, respectivamente, as quantidades disponíveis do recurso renovável e não renovável  $k$ .

Cada atividade do projeto possui uma série de atributos como, por exemplo, um conjunto  $M_j$  dos seus modos disponíveis, um tempo de processamento  $p_{jm}$  indicando quantas unidades de tempo durará a execução da atividade  $j$  no modo  $m$ , dois conjuntos  $Pred(j)$  e  $Succ(j)$ , representando respectivamente, o conjunto das atividades predecessoras e sucessoras da atividade  $j$ .

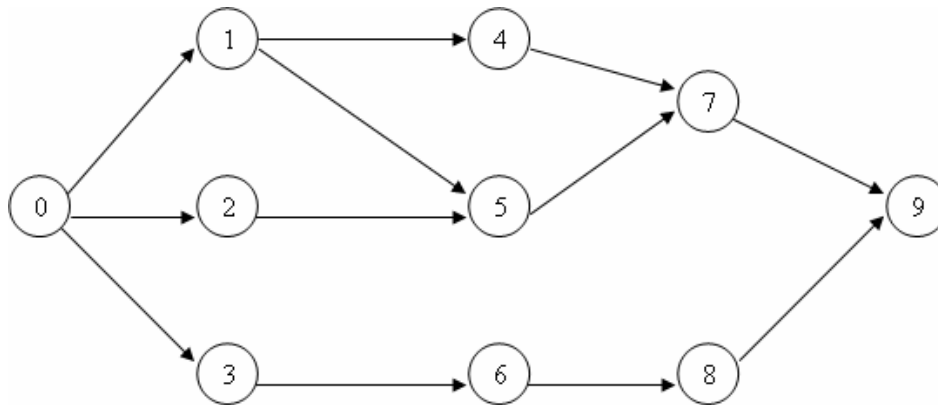


Figura 1 - Representação gráfica de uma rede de atividade em nó

Ainda com relação às atividades as mesmas podem requerer para a sua execução, certa quantidade dos recursos existentes, tanto renováveis quanto não renováveis, assim  $r^r_{jkm}$  representa a quantidade requerida pela atividade  $j$  do recurso renovável  $k$  quando executada no modo  $m$ , por conseguinte,  $r^n_{jkm}$  representa a quantidade requerida pela atividade  $j$  do recurso não renovável  $k$  quando executada no modo  $m$ . A Tabela 1 mostra uma instância com doze atividades da PSPLIB. Nesta instância as atividades 1 e 12 são atividades fictícias, os recursos renováveis são nomeados como R1 e R2 os não renováveis N1 e N2.

RELAÇÕES DE PRECEDÊNCIAS:				
Atividade	modos	quant. suc.	sucessores	
1	1	3	2	3 4
2	3	2	5	6
3	3	2	10	11
4	3	1	9	
5	3	2	7	8
6	3	2	10	11
7	3	2	9	10

8	3	1	9
9	3	1	12
10	3	1	12
11	3	1	12
12	1	0	
*****			
Ativ.	modos	duração	R <sub>1</sub> R <sub>2</sub> N <sub>1</sub> N <sub>2</sub>
-----			
1	1	0	0 0 0 0
2	1	3	6 0 9 0
	2	9	5 0 0 8
	3	10	0 6 0 6
3	1	1	0 4 0 8
	2	1	7 0 0 8
	3	5	0 4 0 5
4	1	3	10 0 0 7
	2	5	7 0 2 0
	3	8	6 0 0 7
5	1	4	0 9 8 0
	2	6	2 0 0 7
	3	10	0 5 0 5
6	1	2	2 0 8 0
	2	4	0 8 5 0
	3	6	2 0 0 1
7	1	3	5 0 10 0
	2	6	0 7 10 0
	3	8	5 0 0 10
8	1	4	6 0 0 1
	2	10	3 0 10 0
	3	10	4 0 0 1
9	1	2	2 0 6 0
	2	7	1 0 0 8
	3	10	1 0 0 7
10	1	1	4 0 4 0
	2	1	0 2 0 8
	3	9	4 0 0 5
11	1	6	0 2 0 10
	2	9	0 1 0 9
	3	10	0 1 0 7
12	1	0	0 0 0 0
*****			
DISPONIBILIDADES DOS RECURSOS:			
R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>
9	4	29	40

Tabela 1 - Instância com 10 atividades não fictícias

A tabela 2 sumariza as definições já mencionadas e também adiciona outras que serão utilizadas neste trabalho.

Símbolos	Definição
$T$	Conjunto de atividades
$A$	Conjunto de relações de precedência
$N$	Número de atividades projeto
$G = (N, A)$	Rede com as relações de precedência representando o projeto
$(i, j)$	Uma relação de precedência entre as atividades $i$ e $j$
$Pred(j)$	Conjunto de todas as atividades predecessoras diretas de $j$
$Succ(j)$	Conjunto de todas as atividades sucessoras diretas de $j$
$R^r$	Conjunto dos recursos renováveis
$R^r_k$	Quantidade disponível do recurso renovável $k$
$M_j$	Conjunto dos modos disponíveis de escalonamento da atividade $j$
$P_{jm}$	Tempo de processamento da atividade $j$ no modo $m$
$R^n$	Conjunto dos recursos não-renováveis
$R^n_k$	Quantidade disponível do recurso não-renovável $k$
$r^r_{jkm}$	Quantidade requerida, por período, pela atividade $j$ do recurso renovável $k$ quando executada no modo $m$
$r^n_{jkm}$	Quantidade requerida do pela atividade $j$ do recurso não renovável $k$ quando executada no modo $m$
$U$	Horizonte do Projeto

**Tabela 2 - Definições do MMRCPS**

## 2.2 MODELO MATEMÁTICO

Dentre as várias abordagens matemáticas existentes na literatura para o MMRCPS, abaixo é reproduzido o modelo de (Talbot, 1982 apud Kolisch; Drexel, 1997).

$$MIN \sum_{m=1}^{|M_j|} \sum_{t=EC_j}^{LC_j} t \cdot x_{jmt} \quad (1)$$

s.a.

$$\sum_{m=1}^{|M_j|} \sum_{t=EC_j}^{LC_j} x_{jmt} = 1 \quad j = 1, \dots, N \quad (2)$$

$$\sum_{m=1}^{|M_h|} \sum_{t=EC_h}^{LC_h} t \cdot x_{hmt} \leq \sum_{m=1}^{|M_j|} \sum_{t=EC_j}^{LC_j} (t - p_{jm}) x_{jmt} \quad j = 2, \dots, N, \quad h \in Pred(j) \quad (3)$$

$$\sum_{j=2}^{N-1} \sum_{m=1}^{|M_j|} r^r_{jmk} \cdot \sum_{q=t}^{t+p_{jm}-1} x_{jmq} \leq R^r_k \quad k \in R^r, \quad t = 1, \dots, U \quad (4)$$

$$\sum_{j=2}^{N-1} \sum_{m=1}^{|M_j|} r^n_{jmk} \sum_{t=EC_j}^{LC_j} x_{jmt} \leq R^n_k \quad k \in R^n \quad (5)$$

$$x_{jmt} \in \{0,1\} \quad (6)$$

Assim dado um limite superior  $U$  no término do projeto pode-se utilizar as relações de precedências existentes para se calcular as janelas de tempo, que são intervalos nos quais as atividades devem ser escalonadas, através do cálculo do instante de início e término mais cedo da atividade  $j$ ,  $ES_j$  e  $EC_j$  respectivamente, e do instante de início e término mais tarde da atividade, respectivamente  $LS_j$  e  $LC_j$ .

As variáveis de decisão são  $x_{jmt}$ , para  $j=1, \dots, N$ ,  $m=1, \dots, M_j$  e  $t=ES_j, \dots, LC_j$  com  $x_{jmt} = 1$  se a atividade  $j$  é executada no modo  $m$  e terminada no instante  $t$  e  $x_{jmt} = 0$  caso contrário. Cada atividade só pode ser escalonada em um dos seus modos disponíveis não se permitindo interrupção. Assim em (1) temos a função objetivo que minimiza o tempo de duração do projeto (*Makespan*). Na restrição (2) garante-se que cada atividade será escalonada somente em um dos seus modos disponíveis. A restrição (3) garante que as relações de precedência sejam respeitadas; assim uma atividade só será escalonada depois que todas as suas atividades predecessoras estiverem escalonadas. Nas restrições (4) e (5), são garantidas, respectivamente, que as restrições relativas ao uso dos recursos renováveis e não-renováveis sejam respeitadas. A restrição (6) define que as variáveis de decisão do problema são variáveis binárias.

## 2.3 MÉTODOS DE RESOLUÇÃO

Diversos métodos, tanto exatos como heurísticos, tem sido aplicados na resolução do *MMRCPSP*. Dentre os exatos, podemos destacar aqueles baseados em árvores de precedência (*precedence tree*), em alternativas de modo e atraso (*mode and delay alternatives*) e alternativas de modo e extensão (*mode and extension alternatives*). Todos possuem em comum o fato de construírem escalonamentos parciais, diferenciando-se no fato de que os algoritmos baseados em árvores de precedência analisam atividades isoladamente enquanto que os outros analisam conjuntos de atividades, (Leal, 2007).

Um dos primeiros algoritmos exatos propostos para o *MMRCPSP* foi o de (Patterson et al., 1989 apud Brucker et al., 1999), que utiliza o conceito de árvore de precedência. Nesse algoritmo cada combinação de atividade e modo corresponde a um nó da árvore *branch-and-bound* e um escalonamento completo é obtido quando alcança-se a atividade fictícia que representa o fim do projeto. Recentemente, (Sprecher; Drexel, 1998) melhoraram o procedimento incluindo novos critérios de poda.

Os algoritmos que utilizam o conceito de alternativas de modos e atraso são igualmente baseados na construção de escalonamentos parciais. Nesses algoritmos cada nó da árvore *branch-and-bound* está associado a um determinado instante do tempo. Assim um escalonamento é construído escolhendo-se entre vários pares de modos e atividade possíveis. Se houver alguma violação das restrições de recurso, calculam-se os conjuntos de atividades que podem ser atrasadas de forma a se viabilizar o escalonamento, (Leal, 2007).

O terceiro tipo de algoritmo exato é o baseado em alternativas de modo e extensão proposto por (Hartmann; Drexel, 1998). Nesse algoritmo cada nó da árvore *branch-and-bound* está associado a um ponto de decisão onde são calculadas as atividades elegíveis e as alternativas de modos destas. O conceito de extensão referido no nome do algoritmo consiste num conjunto de atividades e modos, escalonáveis num determinado nó, que estendem o escalonamento parcial sem violar nenhuma restrição quanto aos recursos, (Leal, 2007).

Vários algoritmos heurísticos são encontrados na literatura para a resolução do *MMRCPS*, destacando-se o algoritmo baseado em regras de seleção de modo, regras de prioridade e esquema de escalonamento de (Lova et al., 2006), o *Simulated Annealing* de (Bouleimen; Lecocq, 2003) e o de (Józefowska et al., 2001), o Algoritmo Genético de (Hartmann, 2001), a Busca Local de (Kolisch; Drexl, 1997) e a Evolução Diferencial de (Damak et al., 2009).

Uma relação mais completas dos diversos algoritmos existentes, tanto exatos como heurísticos, aplicados a resolução do problema, pode ser encontrado em (Lorenzoni, 2003) e (Brucker et al., 1999) .



### 3 PROCEDIMENTOS CONSTRUTIVOS PARA GERAÇÃO DE UM ESCALONAMENTO

Os procedimentos para a resolução do *MMRCPS* não utilizam um escalonamento propriamente dito, mas sim uma representação do mesmo. Na literatura, vários são os métodos de representação propostos como, por exemplo, a representação por lista de atividades (*Activity List Representation*), por chave randômica (*Random Key Representation*), por árvore com chave randômica (*Random Key-Tree Representation*), por regra de prioridade (*Priority Rule Representation*), por vetor deslocamento (*Shift Vector Representation*) e por esquema de escalonamento (*Schedule Scheme Representation*), (Lorenzoni, 2003).

A representação de escalonamento utilizada neste trabalho foi a de lista de atividades, com duas atividades fictícias representando, respectivamente, o início e o fim do projeto. Associada a cada atividade da lista está o modo em que a mesma foi escalonada, além de seus tempos de início e término. Cada atividade nesta lista aparece em uma posição intermediária localizada entre suas atividades predecessoras e sucessoras conforme ilustrado na Figura 2, onde a atividade sete aparece entre as suas predecessora 4 e 5 e sua sucessora 11, sendo assim um escalonamento viável em precedência.

Atividade	1	3	5	4	2	7	9	8	6	10	11	12
Modo	0	0	0	1	0	1	2	0	0	1	2	0
[Início,Término]	[0,0]	[0,2]	[0,3]	[1,6]	[1,5]	[7,10]	[7,9]	[5,10]	[3,12]	[9,13]	[10,11]	[13,13]

Figura 2 - Representação de um escalonamento viável em precedência

Para que um escalonamento possa ser considerado completo é necessário definir a ordem de execução das tarefas, atribuir os modos e estabelecer seus tempos de início

### 3.1 REGRAS DE SELEÇÃO DAS ATIVIDADES

Para a seleção das atividades foram utilizados dois conjuntos, um das atividades escalonadas e outro das atividades elegíveis, que são aquelas que já possuem todas as suas predecessoras escalonadas. A cada etapa do procedimento uma atividade elegível é selecionada e inserida no conjunto das atividades escalonadas, recalculando-se os conjuntos. Este procedimento é repetido até que não haja mais atividades elegíveis.

De modo a se obter configurações diferentes desta lista foram implementadas sete regras diferentes para a seleção das atividades elegíveis, baseadas em (Lova et al., 2006), a saber: *ALEATÓRIA*, *MNS*, *CAN*, *FOLGA\_ZERO*, *LFT*, *LFTLST*, *RWK*.

- A regra *ALEATÓRIA* que como o nome sugere escolhe uma atividade elegível aleatoriamente;
- A regra *MNS*, seleciona dentre as elegíveis a atividade com maior número de sucessoras diretas,
- *CAN* seleciona a atividade com o maior número de sucessoras diretas e indiretas;
- Para a regra *FOLGA\_ZERO*, relaxa-se os recursos renováveis e não renováveis e cada atividade é considerada no seu modo de menor duração. Calcula-se então a janela de tempo na qual cada atividade deve ser escalonada, que é o seu tempo de início mais cedo (*EST*) e mais tarde (*LST*) selecionando aquela atividade cuja folga é zero,  $LST - EST = 0$ .
- *LFT* seleciona a atividade com menor instante de término mais tarde;
- *LFTLST* seleciona a atividade que possuir o maior valor somando-se os instantes de início e término mais tarde;
- A regra *RWK* seleciona a atividade que possuir o maior valor da soma do seu tempo de processamento e de suas sucessoras diretas e indiretas.

### 3.2 MÉTODO DE ATRIBUIÇÃO DE MODO

Continuando a geração de um escalonamento completo, foram utilizadas duas formas, baseados nas técnicas de busca em árvore, para a atribuição dos modos. No primeiro método, para toda atividade da lista, é feita inicialmente uma tentativa de atribuição de seu modo de menor duração, toda tentativa de atribuição de um modo leva em consideração os recursos não renováveis, ou seja, é necessário que haja recursos suficientes para a atribuição.

Quando a atribuição ocorre com sucesso passa-se para a próxima atividade da lista e o mesmo processo ocorre para esta atividade. Quando não é possível a atribuição, é executada uma nova tentativa no próximo modo disponível da atividade. Caso não haja nenhum outro modo disponível para a atividade, ocorre então um *backtracking* à atividade anterior sendo feita uma tentativa de atribuição no seu próximo modo disponível. Esse procedimento é executado até ser encontrada a primeira configuração onde toda atividade possua um modo atribuído.

O Segundo método para a atribuição de um modo é semelhante ao anterior, diferenciando-se apenas na prioridade de seleção dos modos, ao invés de ser feita uma tentativa inicial no modo de menor duração é feita uma tentativa no modo de maior duração da atividade.

### 3.3 CÁLCULO DOS TEMPOS DE INÍCIO E TÉRMINO DAS ATIVIDADES

Por último, na geração de um escalonamento completo, é necessário calcular os tempos de início e término das atividades, sendo aqui considerados os recursos renováveis. Para o cálculo do tempo de início de uma atividade é necessário obter dentre suas atividades predecessoras aquela que possuir o instante de término mais tarde,  $C_{MAX} = \max Ctime(P_j)$ , é a partir desse instante que a busca por um intervalo de tempo onde a atividade pode ser escalonada começa.

Para cada instante da janela de tempo  $[C_{MAX} + 1, C_{MAX} + p_{jm}]$  é verificado se existem recursos renováveis suficientes para a execução da tarefa, caso existam os tempos são computados e atribuídos à atividade, caso contrário o instante  $C_{MAX}$  é incrementado e a verificação se repete como já mencionado.

### 3.4 MÉTODOS PARA ACELERAÇÃO DA OBTENÇÃO DE UM ESCALONAMENTO COMPLETO

Para os conjuntos de problemas de testes da PSPLIB com até 20 atividades o procedimento anteriormente descrito mostrou-se ágil para a obtenção de um escalonamento completo. Este mesmo fato não se verificou para algumas instâncias do conjunto *J30*. Nessas instâncias há uma escassez de recursos não renováveis e os mesmos acabam prematuramente, antes que todas as atividades pudessem ter um modo atribuído. Essa escassez de recurso e a maior quantidade de atividades destas instâncias levavam o procedimento a executar muitos passos *backtracking*, causando assim a morosidade do procedimento.

De forma a aumentar o desempenho do procedimento de obtenção de um escalonamento completo, foram utilizados métodos de escolha de modos que pudessem acelerar tal obtenção como, por exemplo, a marcação dos modos inviáveis e ineficientes e a verificação das quantidades restantes dos recursos não renováveis a cada atribuição.

#### 3.4.1 ESCOLHA DE MODOS

Modos inviáveis são aqueles que necessitam de uma maior quantidade de recursos para a sua execução do que as quantidades disponíveis (Sprecher et al., 1997) A exclusão destes diminui a quantidade de modos possíveis de serem atribuídos e reduzem a chance de obtenção de um escalonamento inviável. Como exemplo tome-se a instância *J129\_4*, do conjunto *J12*, mostrada na Tabela 3, sendo que as linhas mais escuras representam os modos inviáveis da instância.

Ativ.	modo	duração	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>
1	1	0	0	0	0	0
2	1	4	0	5	0	10
	2	5	5	0	4	0
	3	9	4	0	0	5
3	1	3	0	5	5	0
	2	6	0	4	0	9
	3	9	0	2	4	0
4	1	2	6	0	0	9
	2	4	3	0	5	0
	3	4	0	5	7	0
5	1	1	0	6	0	9
	2	5	8	0	0	5
	3	9	7	0	8	0
6	1	1	10	0	0	9
	2	5	9	0	3	0
	3	5	8	0	0	8
7	1	1	7	0	0	3
	2	7	0	10	0	2
	3	8	6	0	5	0
8	1	3	9	0	0	7
	2	7	7	0	10	0
	3	9	6	0	10	0
9	1	7	9	0	0	5
	2	8	0	10	0	3
	3	10	0	6	0	2
10	1	4	0	7	0	10
	2	7	0	3	0	5
	3	10	4	0	0	4
11	1	2	4	0	4	0
	2	6	0	3	0	4
	3	6	2	0	3	0
12	1	1	4	0	4	0
	2	2	0	9	0	8
	3	6	0	8	3	0
13	1	5	10	0	0	9
	2	9	0	4	0	2
	3	10	10	0	10	0
14	1	0	0	0	0	0
*****						
Disponibilidade dos Recursos:						
R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>			
12	6	30	49			

**Tabela 3 - Instância com modos de atividades inviáveis**

Para diminuir a quantidade de modos possíveis de serem atribuídos às atividades, e consequentemente acelerar o procedimento de obtenção de um escalonamento de completo, são verificadas para as atividades da instância, se dentre os seus modos  $m$ , existe outro modo  $m'$ , que possua um tempo de processamento menor e consuma uma quantidade menor ou igual de todos os recursos não renováveis, se tal modo existir, então  $m$  é classificado como ineficiente. Nesse caso ineficiente se refere à obtenção de uma atribuição de modos para todas as atividades. Durante o procedimento de atribuição de modo, se o modo em consideração a ser atribuído a uma atividade está classificado como ineficiente, o próximo modo é então considerado ou ocorre um passo *backtracking*.

A classificação desse modo como ineficiente não o exclui da solução final, devido aos diferentes consumos dos recursos renováveis. Na Tabela 4, é mostrado o exemplo de modos classificados como ineficientes da instância *J125\_9*.

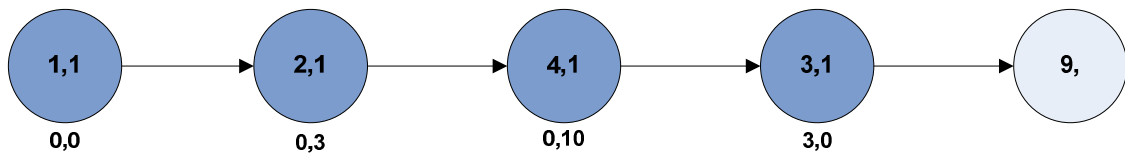
Ativ.	modo	duração	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>
1	1	0	0	0	0	0
2	1	4	6	4	6	0
	2	6	2	4	6	0
	3	6	3	3	0	1
3	1	5	6	6	0	4
	2	6	6	4	9	0
	3	7	5	4	7	0
4	1	4	4	8	0	9
	2	9	4	7	0	8
	3	10	2	7	0	5
5	1	3	7	3	8	0
	2	7	4	1	0	5
	3	7	1	3	1	0
6	1	2	5	7	0	3
	2	8	4	7	10	0
	3	9	3	7	0	2
7	1	1	6	5	8	0
	2	4	6	4	0	1
	3	9	6	4	6	0
8	1	8	6	8	0	4
	2	8	6	8	1	0
	3	10	4	7	0	4
9	1	1	6	10	0	5
	2	7	4	3	0	5
	3	7	6	3	5	0
10	1	1	2	8	0	4
	2	2	1	5	3	0
	3	4	1	3	0	3
11	1	7	6	9	0	6
	2	8	6	9	6	0
	3	10	3	8	0	2
12	1	1	6	5	8	0
	2	6	5	4	6	0
	3	7	5	4	0	8
13	1	7	8	9	0	5
	2	8	8	6	5	0
	3	10	8	5	3	0
14	1	0	0	0	0	0
*****						
Disponibilidade de recursos						
	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>		
	12	12	17	18		

**Tabela 4 - Instância com modos ineficientes**

### 3.5 SOBRA DOS RECURSOS NÃO RENOVÁVEIS

O terceiro método utilizado é verificar a cada tentativa de atribuição de um modo a uma atividade se, a quantidade requerida dos recursos não renováveis pela atividade no modo em questão adicionada a soma dos menores requerimentos das atividades que ainda não tiveram um modo atribuído, são menores que as quantidades existentes. Para uma exemplificação, tome-se, como exemplo, o

escalonamento parcial da instância *J307\_8*, apresentada na Figura 3, relativo à Tabela 5. As atividades em azul são aquelas que já possuem um modo de processamento atribuído, a atividade em branco é a atividade avaliada no momento. os consumos dos recursos não-renováveis 1 e 2 são respectivamente os números ao lado das atividades.



**Figura 3 - Escalonamento parcial da instância *J307\_8* da PSPLIB**

Ativ.	modo	duração	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>
-----						
1	1	0	0	0	0	0
2	1	1	8	2	0	3
	2	6	8	2	0	2
	3	8	6	2	0	2
3	1	2	3	7	3	0
	2	4	2	6	3	0
	3	5	2	6	0	9
4	1	4	9	8	0	10
	2	7	7	5	0	6
	3	9	3	4	0	4
5	1	4	7	6	0	3
	2	5	7	5	0	3
	3	8	5	5	0	1
6	1	1	9	8	7	0
	2	4	9	8	5	0
	3	9	9	6	3	0
7	1	4	9	5	0	4
	2	6	9	4	7	0
	3	7	9	4	6	0
8	1	1	8	9	6	0
	2	5	7	8	5	0
	3	9	5	8	4	0
9	1	5	6	6	0	7
	2	7	2	4	0	5
	3	7	2	2	0	6
10	1	7	8	9	0	10
	2	9	7	7	0	9
	3	10	6	6	1	0
11	1	2	9	8	6	0
	2	6	7	6	0	1
	3	9	3	3	4	0
12	1	1	2	3	6	0
	2	3	1	3	0	1
	3	10	1	2	5	0
13	1	1	5	10	0	6
	2	1	4	10	0	8
	3	3	2	9	0	6
14	1	3	7	4	0	3
	2	5	6	4	4	0
	3	10	5	3	0	2
15	1	2	7	3	0	6
	2	6	6	3	6	0

	3	10	5	2	3	0
16	1	4	10	10	5	0
	2	6	9	9	0	5
	3	8	7	9	3	0
17	1	3	8	4	8	0
	2	5	7	4	7	0
	3	9	6	4	5	0
18	1	4	5	7	5	0
	2	5	5	7	4	0
	3	8	3	6	3	0
19	1	4	4	7	0	3
	2	4	4	6	7	0
	3	7	3	6	5	0
20	1	1	9	5	0	10
	2	3	8	4	0	10
	3	10	7	4	0	10
21	1	6	8	7	0	8
	2	8	7	6	7	0
	3	10	7	3	3	0
22	1	2	8	2	4	0
	2	3	7	2	1	0
	3	9	7	2	0	4
23	1	1	6	9	10	0
	2	7	3	3	0	7
	3	7	2	6	2	0
24	1	1	4	6	0	5
	2	5	4	5	8	0
	3	6	3	2	8	0
25	1	8	7	7	5	0
	2	9	5	6	4	0
	3	10	2	6	0	3
26	1	2	8	6	0	2
	2	5	4	3	0	1
	3	5	6	1	0	2
27	1	1	6	4	8	0
	2	2	6	2	6	0
	3	4	3	1	6	0
28	1	2	5	1	0	8
	2	5	3	1	0	7
	3	10	3	1	0	4
29	1	4	5	7	0	9
	2	8	1	3	0	3
	3	8	4	4	7	0
30	1	2	7	8	0	3
	2	8	5	4	0	3
	3	9	3	4	5	0
31	1	5	8	3	0	4
	2	7	8	2	3	0
	3	7	7	3	0	3
32	1	0	0	0	0	0
*****						
DISPONIBILIDADE DOS RECURSOS:						
	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>		
	32	27	48	59		

Tabela 5 - Instância J307\_8

Assim dados os consumos dos recursos não renováveis das atividades que já tiveram um modo atribuído, sobram 45 e 46 unidades dos recursos não renováveis 1 e 2 respectivamente. Para a atribuição de um modo à atividade em questão, somam-se os requerimentos de consumos dos recursos não renováveis no modo tentado para esta atividade adicionada a soma dos menores requerimentos dos mesmos tipos de recursos das atividades que ainda não receberam um modo. Para um



melhor entendimento deste último, tome-se como exemplo a atividade 17 destacada na Tabela 6.

<b>Modo</b>	<b>N1</b>	<b>N2</b>
1	8	0
2	7	0
3	5	0

**Tabela 6 - Consumo dos recursos não renováveis da atividade 17 da instância J307\_8**

Para a atividade, percorre-se a matriz de requerimento retornando àquele de menor quantidade para os diferentes tipos de recursos, nesse caso 5 e 0. Observa-se que os menores requerimentos para os diferentes recursos não estão necessariamente no mesmo modo.

Retornando ao exemplo do escalonamento parcial da Figura 3, somam-se então os requerimentos da atividade em questão, no modo em que está tentando ser atribuído, aos menores consumos de recursos não renováveis das atividades que ainda não tiveram um modo atribuído.

<b>Atividade</b>	<b>Modo</b>	<b>N1</b>	<b>N2</b>
9	1	0	7

**Tabela 7 - Consumo dos recursos não renováveis no modo 0 da atividade 9 da instância J307\_8**

<b>Atividade</b>	<b>N1</b>	<b>N2</b>
5	0	1
6	3	0
7	0	0
8	4	0
9	0	0
10	0	0
11	0	0
12	0	0
13	0	6
14	0	0
15	0	0
16	0	0
17	5	0
18	3	0
19	0	0
20	0	10

21	0	0
22	0	0
23	0	0
24	0	0
25	0	0
26	0	1
27	6	0
28	0	0
29	0	0
30	0	0
31	0	0
<b>Total</b>	<b>21</b>	<b>18</b>

**Tabela 8 - Menores consumos de recursos não renováveis**

Assim a quantidade existente dos recursos não renováveis 1 e 2, que são respectivamente 45 e 46, tem que ser maior que a soma dos requerimentos, 21 e 25. Caso isso se verifique para a atividade em questão, o modo pode ser atribuído. No caso contrário, ocorre ou uma tentativa de atribuição ao próximo modo da atividade ou um passo *backtracking* à atividade anterior da lista.

### 3.6 SOLUÇÃO INICIAL

No sentido de se obter uma boa solução inicial tanto para o *Simulated Annealing* quanto para o VNS, foram combinadas as sete regras de seleção das atividades com os dois métodos de atribuição de modos, calculando-se os referidos tempos de inícios das atividades. Os 14 escalonamentos obtidos são comparados entre si e o melhor gerado dessa combinação será o escalonamento inicial do *Simulated Annealing* e do VNS.

## 4 APLICAÇÃO DO SIMULATED ANNEALING

Recozimento é o processo utilizado para fundir um metal, aquecendo-o a uma elevada temperatura e sendo em seguida resfriado lentamente, de modo que o produto final seja uma massa homogênea. O *Simulated Annealing* foi inicialmente proposto por (Kirkpatrick et al., 1983) e de forma independente por (Černý, 1985). Esse processo de otimização é realizado por níveis, simulando os níveis de temperatura no resfriamento. Em cada nível, dada uma solução corrente, várias soluções vizinhas são geradas e o correspondente valor da função objetivo é calculado. Se houver uma melhora no valor da função objetivo o vizinho é aceito, caso contrário ele é aceito ou rejeitado de acordo com certa probabilidade. Esta probabilidade de aceitação decresce de acordo com o nível do processo, ou equivalentemente, de acordo com a temperatura. O pseudocódigo mostrado na Figura 4 apresenta os passos deste procedimento.

```

SIMULATED ANNEALING
01. S= Solução inicial
02. Smin=S // melhor solução
03. INTmax = numero máximo de iterações numa dada temperatura
04. T = Temperatura inicial
05. α = fator de decremento da Temperatura
06. Stop = critério_de_parada
07. ENQUANTO (Temperatura > Stop) FAÇA
08.     ENQUANTO (Numero de iterações > INTmax) FAÇA
09.         gerar um vizinho de S' de S
10.         Δ = f(S')-f(S)
11.         SE (Δ < 0) ENTÃO
12.             S = S'
13.             SE (f(S) < f(Smin)) ENTÃO
14.                 Smin = S
15.             FIM SE
16.         SENÃO
17.             SE (p=exp(- Δ /Temperatura) > randômico( 0,1)) ENTÃO
18.                 S=S'
19.             FIM SE
20.         FIM SE
21.     Numero de iterações = Numero de iterações + 1
22.     FIM_ENQUANTO
23. Temperatura = Temperatura * α
24. Numero de iterações=0
25. FIM_ENQUANTO
26. RETORNE Smin

```

Figura 4 - Pseudocódigo do Simulated Annealing

A ideia do algoritmo é inicialmente aceitar quase todas as soluções propostas, buscando-se escapar de mínimos locais e em seguida aceitar, com probabilidade cada vez menor, os pontos que pioram o valor da função objetivo.

## 4.1 O SIMULATED ANNEALING PARA O MMRCPS

O *Simulated Annealing* implementado neste trabalho é controlado por quatro parâmetros principais, a temperatura inicial  $T$ , o coeficiente de redução da temperatura  $\alpha$ , a quantidade de passos  $P$  em cada temperatura e o número de vizinhos gerados  $V$  em cada passo. A Figura 5 apresenta o pseudocódigo do procedimento implementado.

```

01. S= Solução inicial
02. Smin =S // melhor solução
03. INTmax = numero máximo de iterações numa dada temperatura
04. T = Temperatura inicial
05.  $\alpha$  = fator de decremento da Temperatura
06. Stop = critério_de_parada
07. ENQUANTO T > Stop FAÇA
08.   PARA P passos FAÇA
09.     Gere uma perturbação na solução S
10.     SE Sper < Smin ENTÃO
11.       Smin = SPER
12.     FIM_SE
13.     S = Sper
14.     PARA V vizinhos de modo FAÇA
15.       Gere um vizinho de modo S' de S
16.        $\Delta = f(S') - f(S)$ 
17.       SE ( $\Delta < 0$ ) ENTÃO
18.         S = S'
19.         SE S < Smin ENTÃO
20.           Smin = S
21.         FIM_SE
22.       SENÃO
23.         SE ( $\exp(-\Delta/T) > \text{número\_randômico}[0,1]$ ) ENTÃO
24.           S = S'
25.         FIM_SE
26.       FIM_SE
27.     FIM_PARA
28.     T = T * alfa
29.   FIM_PARA
30. FIM_ENQUANTO
31. RETORNE Smin

```

Figura 5 - Pseudocódigo do Simulated Annealing Implementado

A cada passo dentro de uma temperatura do SA é feita uma perturbação na última solução aceita, visando a exploração da vizinhança de boas soluções. Essa nova solução perturbada é então comparada com a melhor solução, sendo salva como tal se houver uma melhora no valor da função objetivo. A solução perturbada passa a ser a solução corrente do SA, sendo então gerados  $V$  vizinhos de modos, se o vizinho gerado for melhor que a solução corrente, este passa a ser solução corrente, e então é verificado se ele é melhor que a melhor solução conhecida, sendo salvo

como tal se verdadeiro. Caso o vizinho de modo gerado não seja melhor que a solução corrente ele pode ser aceito caso o passo 23 do algoritmo se verifique, não sendo aceito caso contrário. Este procedimento é repetido até que a condição de parada seja alcançada.

Diferentemente do *Simulated Annealing* implementado por (Bouleimen; Lecocq, 2003), e de outros algoritmos que também se utilizam de listas de atividades para a representação do escalonamento, a busca efetuada pelo SA deste trabalho ocorre na vizinhança de modo de uma solução, enquanto que nos outros trabalhos a busca é efetuada na vizinhança de atividade. Com isto busca-se resolver o problema de uma forma diferente daquelas encontradas na literatura.

## 4.2 PERTURBAÇÃO DO ESCALONAMENTO

A perturbação de uma solução é executada da seguinte maneira, uma atividade é aleatoriamente selecionada dentre as atividades escalonadas. Para essa atividade são calculados seus limites, esquerdo (*LE*) e direito (*LD*), sendo estes, respectivamente, as posições de seu predecessor e sucessor mais próximo. Esses limites servem para definir quais as posições, na lista de atividades, que a atividade sorteada pode ser movida sem violar as restrições de precedências, sendo a nova posição aleatoriamente definida. A figura 6 exemplifica tal procedimento, sendo que conceito de vizinhança de atividade é o mesmo daquele utilizado em (Bouleimen; Lecocq, 2003).

	LE							LD				
Atividade	1	3	5	4	2	7	9	8	6	10	11	12
Modo	0	0	0	1	0	1	2	0	0	1	2	0

	LE							LD				
Atividade	1	3	5	9	4	2	7	8	6	10	11	12
Modo	0	0	0	2	1	0	1	0	0	1	2	0

Figura 6 – Geração de um vizinho de atividade

### 4.3 GERAÇÃO DO VIZINHO DE MODO

A geração de um vizinho é também baseada no processo de (Bouleimen; Lecocq, 2003), assim uma atividade da lista de escalonadas é aleatoriamente selecionada. Para essa atividade é feita uma tentativa de substituição de modo, se a substituição for possível, ou seja, as quantidades de recursos forem suficientes, a troca de modo é então executada e são assim recalculados as novas quantidades dos recursos e os novos tempos de início e término das atividades. Caso não haja sucesso na troca, uma atividade diferente é também aleatoriamente selecionada e o processo se segue de acordo com o ilustrado na Figura 7.

Atividade	1	3	5	9	4	2	7	8	6	10	11	12
Modo	0	0	0	2	1	0	1	0	0	1	2	0

Atividade	1	3	5	9	4	2	7	8	6	10	11	12
Modo	0	0	0	2	1	2	1	0	0	1	2	0

Figura 7 – Geração de um vizinho de Modo

#### 4.4 CALIBRAÇÃO DOS PARÂMETROS PARA O *SIMULATED ANNEALING*

Para a calibração dos valores dos parâmetros do SA utilizou-se as instâncias do conjunto *J20* da PSPLIB como base de teste, executando o algoritmo cinco vezes para cada instância com os vários valores predefinidos desses parâmetros. De forma que aqueles que obtivessem os melhores resultados fossem utilizados nas execuções dos algoritmos para os outros conjuntos de instâncias.

Os valores definidos para os parâmetros  $P$  e  $N$  foram, a quantidade de tarefas de cada instância. Assim para as instâncias dos respectivos conjuntos, *J10*, *J12*, *J14*, *J16*, *J18*, *J20*, *J30* os valores foram, respectivamente: 12, 14, 16, 18, 20, 22 e 32.

Para a definição dos valores de  $\alpha$  e  $T$ , executou-se o algoritmo com os seguintes valores para  $T$ : 100, 75 e 50 e os seguintes para  $\alpha$ : 0,25, 0,50, 0,75 e 0,99, obtendo-se os resultados mostrados, respectivamente, nas Tabelas 9, 10 e 11.

<b>T = 100</b>				
<b><math>\alpha</math></b>	<b>Makespan Melhores (%)</b>	<b>Makespan Médio (%)</b>	<b>Tempo (s)</b>	<b>Desvio Médio</b>
0,25	30,87	28,70	0,46	9,94
0,50	32,49	29,03	0,69	9,18
0,75	40,97	32,92	1,41	6,53
0,99	68,23	55,20	33,56	2,52

**Tabela 9 - Resultado obtidos pelo SA com T igual a 100 e diversos valores para  $\alpha$**

<b>T = 75</b>				
<b><math>\alpha</math></b>	<b>Makespan Melhores (%)</b>	<b>Makespan Médico (%)</b>	<b>Tempo (s)</b>	<b>Desvio Médico</b>
0,25	32,85	29,49	0,55	8,97
0,50	36,82	31,26	0,89	8,24
0,75	44,40	34,40	3,89	6,55
0,99	69,86	55,88	33,31	2,51

**Tabela 10 - Resultado obtidos pelo SA com T igual a 75 e diversos valores para  $\alpha$**

<b>T = 50</b>				
<b><math>\alpha</math></b>	<b>Makespan Melhores (%)</b>	<b>Makespan Médico (%)</b>	<b>Tempo (s)</b>	<b>Desvio Médico</b>
0,25	28,70	28,01	0,34	11,77
0,50	32,67	29,49	0,55	9,30
0,75	40,43	33,18	1,07	7,09
0,99	70,22	56,06	30,19	2,50

**Tabela 11 - Resultado obtidos pelo SA com T igual a 50 e diversos valores para  $\alpha$**

A coluna “*Makespan Melhores*” mostra o percentual de soluções encontradas pelo algoritmo com valor igual ao valor ótimo levando-se em consideração os melhores resultados obtidos nas cinco execuções do algoritmo e a coluna “*Makespan Médico*” demonstra o percentual de soluções encontradas pelo algoritmo com valor igual ao valor ótimo levando-se em consideração todos os resultados obtidos durante as cinco execuções. A coluna “Tempo” é o tempo de execução do algoritmo, em segundos, e a coluna “Desvio Médico” é a média dos desvios das soluções com relação ao ótimo.



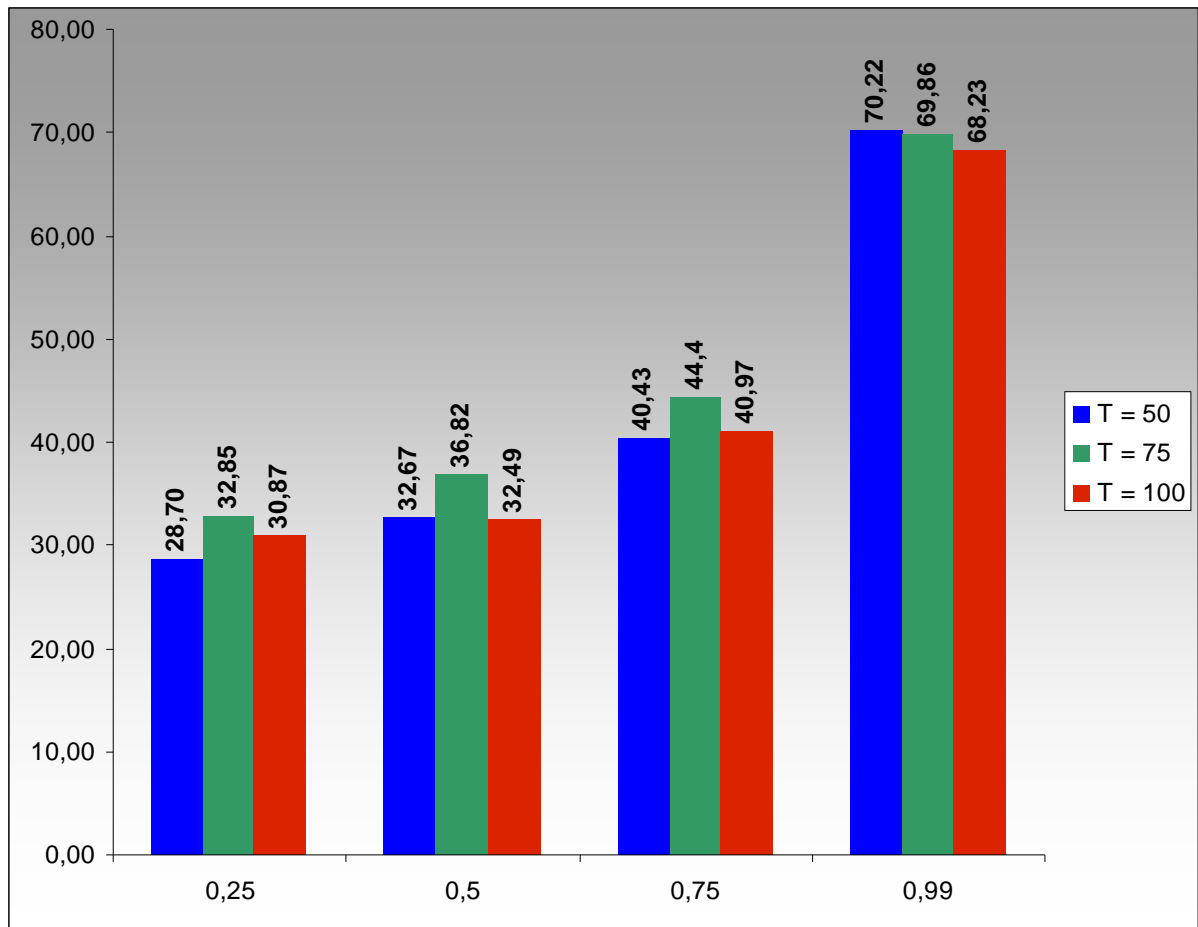


Figura 8 – Percentual de *makespan* obtidos para os valores de  $\alpha$  e  $T$

Como se pode observar na Figura 8 os melhores resultados foram obtidos para uma temperatura inicial igual a 50 e um  $\alpha$  igual a 0,99. Este é um fato interessante tendo em vista que 50 é o menor valor para a temperatura dentre os testados, o que leva a um processo mais 'guloso' em comparação aos outros valores. Nesse valor a probabilidade de aceitação de piores soluções nos primeiros passos do algoritmo é menor que para as outras, o que poderia levar a uma convergência prematura à ótimos locais. O passo aleatório acrescentado ao algoritmo, baseado na perturbação da solução, procura evitar tal situação. Assim os seguintes parâmetros foram escolhidos para o *Simulated Annealing*.

- $T$  : 50;
- $\alpha$  : 0,99;
- $P$  e  $N$  : quantidade de atividades da instância.

## 5 UM PROCEDIMENTO DE BUSCA EM VIZINHANÇA VARIÁVEL

A Busca em Vizinhaça Variável, (inglês: *Variable Neighborhood Search - VNS*), é uma metaheurística recente, proposta por (Hansen; Mladenović, 2001), cuja ideia se baseia na troca sistemática de vizinhanças aliado a uma busca local. Diferentemente de outras metaheurísticas baseadas em busca local que seguem uma trajetória, a VNS explora gradativamente vizinhanças mais distantes da solução corrente aceitando uma nova solução dessa vizinhança somente se ocorrer um melhora no valor da função objetivo. A Figura 8 mostra o pseudocódigo da VNS.

```

                                VNS
2. s = solução_inicial
3. ENQUANTO (Critério de parada não satisfeito) FAÇA
4. k = 1; {Tipo de estrutura de vizinhança}
5.   ENQUANTO (k ≤ r) FAÇA
6.     Gere um vizinho s' ∈ Nks
7.     s" = BuscaLocal(s')
8.     SE f(s") < f(s) ENTÃO
9.       s ← s"
10.    k = 1
11.   SENÃO
12.     k = k + 1
13.   FIM_SE
14. FIM_ENQUANTO
15. RETORNE s

```

Figura 9 - Pseudocódigo de um VNS

Partindo-se de uma solução inicial, a cada iteração seleciona-se um vizinho  $s'$  dentro da vizinhança  $N_{k,s}$  da solução  $s$  corrente, obtida utilizando-se a estrutura de vizinhança  $N_k$ . Então, uma busca local é efetuada em  $s'$ , sendo  $s''$  o resultado desta busca. se  $s''$  for melhor que  $s$ , então  $s''$  passa a ser a melhor solução encontrada. Se a melhoria ocorrer, a busca continua a partir da nova solução  $s$  recomeçando-se a partir de sua primeira estrutura de vizinhança  $N_1s$ . Caso contrário, a busca continua a partir da próxima estrutura de vizinhança  $N_{k+1}s$  da solução corrente. Este procedimento é executado até que o critério de parada pré-definido seja alcançado.

## 5.1 O VNS PARA O MMRCPSP

O VNS implementado, assim como o *Simulated Annealing*, também utiliza como solução inicial, aquela obtida pelo procedimento da seção 3.6. Para o MMRCPSP existem duas formas de se modificar um escalonamento, a primeira é mudança da posição das atividades na lista de atividades escalonadas, e a segunda, a troca do modo em que a atividade foi escalonada. Neste VNS buscou-se uma forma de implementação que fosse possível executar esses dois tipos de mudanças durante a execução do algoritmo. Desta forma, as estruturas de vizinhança foram definidos como trocas sistemáticas das posições das atividades na lista e a busca local foi feita executada utilizando o conceito de vizinhança de modo já anteriormente citado.

Assim, a partir de um escalonamento inicial, enquanto o critério de parada não for alcançado, gera-se um escalonamento vizinho do corrente utilizando-se uma das estruturas de vizinhanças existentes. Uma busca local é então efetuada neste vizinho. Se o escalonamento resultante desta busca local for melhor que o melhor escalonamento conhecido até o momento então a solução resultante passa a ser a melhor solução. Se houver a troca de solução, o procedimento é reiniciado a partir da primeira estrutura de vizinhança dessa nova solução, caso contrário utiliza-se a próxima estrutura da solução corrente e o processo ocorre como descrito.

## 5.2 ESTRUTURAS DE VIZINHANÇA

As estruturas de vizinhanças anteriormente citadas foram definidas como trocas das posições das atividades, assim foram definidas  $T - 2$  estruturas diferentes, onde  $T$  é a quantidade de atividades da instância. Como o algoritmo busca explorar vizinhanças cada vez mais distantes da solução corrente, as  $T - 2$  estruturas são troca de posições de  $T - 2$  atividades diferentes. Assim, quando  $k = 1$ , utiliza-se a primeira estrutura que é a troca aleatória da posição de uma única atividade da lista, quando  $k = 2$ , utiliza-se a segunda estrutura que é a troca aleatória da posição de 2 atividades e assim sucessivamente até o limite  $T - 2$ . Este valor foi utilizado para

que seja possível a troca de todas as atividades não fictícias de uma instância. Na Figura 10, é mostrado o uso da segunda estrutura de vizinhança definida.

	LE <sup>g,1</sup>							LD <sup>g</sup> LD <sup>1</sup>				
Atividade	1	3	5	9	4	2	7	8	6	10	11	12
Modo	0	0	0	2	1	0	1	0	0	1	2	0

	LE <sup>g,1</sup>							LD <sup>g</sup> LD <sup>1</sup>				
Atividade	1	3	9	5	4	2	8	6	7	10	11	12
Modo	0	0	2	0	1	0	0	0	1	1	2	0

Figura 10 - Exemplo de uma estrutura de Vizinhança utilizada

### 5.3 BUSCA LOCAL DO VNS

Diferente dos outros métodos geralmente implementados de busca local, que utilizam listas de atividades como forma de representação de um escalonamento, que se baseiam na troca da posição das atividades na lista, a busca local aqui implementada é efetuada trocando-se os modos das atividades da lista. Como critério de parada para a busca local foi utilizada o número máximo de vizinhos de modo gerados. Assim, depois de alcançado esse limite, o melhor vizinho encontrado é retornado como o resultado da busca local.

200 ITERAÇÕES				
$\alpha$	Makespan Melhores (%)	Makespan Médio (%)	Tempo (s)	Desvio Médio
100	83,94	66,14	59,43	1,18
75	60,65	52,5	38,84	7,83
50	59,57	51,91	33,12	7,92

Tabela 12 – Resultados obtidos para os três limites da busca local

Para se definir a quantidade de vizinhos gerados na busca local, o VNS foi executado limitando a busca local a 100, 75 e 50 vizinhos para o número de 200 iterações. Como observado nos resultados mostrados na Tabela 12 uma maior quantidade de vizinhos gerados levou a um melhor resultado do algoritmo, sendo fixado em 100 o número de vizinhos gerados na busca local para as outras execuções do VNS.

#### 5.4 CALIBRAÇÃO DOS PARÂMETROS PARA O VNS

Dois aspectos importantes com relação ao VNS já foram definidos, que são as estruturas de vizinhanças utilizadas e o meio como a busca local é efetuada, resta-se definir o critério de parada do VNS. Neste trabalho utilizou-se como critério de parada o número máximo iterações do algoritmo. Assim, da mesma forma que foi feito para o *Simulated Annealing* o VNS foi executado cinco vezes com os seguintes valores para o número de iterações, 50, 100, 200, utilizando como base de teste o conjunto de instâncias J20 da PSPLIB.

Iterações	Makespan Melhores (%)	Makespan Médio (%)	Tempo (s)	Desvio Médio (%)
50	75,81	56,39	15,01	2,78
100	79,96	61,84	30,07	2,26
200	83,94	66,14	59,44	1,88

Tabela 13 - Resultado obtidos pelo VNS com o conjunto J20 para as diferentes quantidades de iterações

Como observado nos resultados mostrados na tabela 13, um maior número de iterações levou a um melhor resultado do algoritmo, assim o valor de 200 iterações

foi definido como critério de parada para a execução do algoritmo para os outros conjuntos de instâncias *J10, J12, J14, J16, J18, J30*.

## 6 RESULTADOS COMPUTACIONAIS E DISCUSSÕES

Nessa seção o desempenho dos algoritmos implementados é verificado e são mostrados também os resultados de outros trabalhos encontrados na literatura. O *Simulated Annealing* e o *VNS* foram implementados usando a linguagem de programação C++ em um computador com um processador *Celeron 2,13 Ghz* com 2GB de memória *RAM*. A biblioteca *PSPLIB*, utilizada como base de teste neste trabalho, possui 6 conjuntos de instâncias, *J10*, *J12*, *J14*, *J16*, *J18*, *J20* e *J30*, contendo respectivamente 12, 14, 16, 18, 20, 22 e 32 atividades, sendo duas fictícias, representando o início e o fim do escalonamento. Cada atividade possui 3 modos de execução diferentes e cada instância possui dois tipos de recursos renováveis e não renováveis. Para o conjunto *J30* somente estão disponíveis as melhores soluções heurísticas enquanto que para os outros conjuntos são conhecidas as melhores soluções exatas. Cada conjunto de instâncias contém 640 instâncias onde nem todas podem ser resolvidas, por serem inviáveis, e devido a isso estão excluídas dos testes realizados neste trabalho. A Tabela 14 mostra para cada conjunto a quantidade de instâncias viáveis a serem resolvidas.

Conjunto	Viáveis
J10	536
J12	547
J14	551
J16	550
J18	552
J20	554
J30	552

Tabela 14 - Quantidade de instâncias com soluções viáveis

Da mesma forma que fora feito na fase de definição dos parâmetros das heurísticas, os algoritmos foram executados 5 vezes para todas as instâncias, utilizando os valores anteriormente definidos para os parâmetros, e os resultados de ambos são apresentados nas Tabelas 15 e 16.

#### Simulated Annealing

Conjunto	Viáveis	Desvio Médio (%)	Makespan Melhor	Makespan Médio	Tempo (s)
J10	100%	0,19	99,44%	96,79%	4,22
J12	100%	0,31	98,72%	93,93%	6,51
J14	100%	1,00	91,65%	79,71%	10,49
J16	100%	1,37	86,18%	71,82%	16,82
J18	100%	1,86	73,35%	65,58%	30,40
J20	100%	2,51	70,22%	56,06%	30,19
J30	100%	4,99	47,10%	41,27%	89,64

**Tabela 15 - Resultados obtidos pelo SA para todos os conjuntos de instâncias da PSPLIB**

#### VNS

Conjunto	Viáveis	Desvio Médio (%)	Makespan Melhor	Makespan Médio	Tempo (s)
J10	100%	0,19	99,63%	97,05%	15,71
J12	100%	0,32	99,27%	93,82%	22,06
J14	100%	0,93	94,01%	82,32%	29,41
J16	100%	1,12	94,73%	78,11%	37,63
J18	100%	1,45	87,32%	72,32%	47,52
J20	100%	1,88	83,94%	66,15%	59,44
J30	100%	3,17	64,86%	53,99%	140,64

**Tabela 16 - Resultados obtidos pelo VNS para todos os conjuntos de instâncias da PSPLIB**

Na maioria dos trabalhos encontrados na literatura sobre *MMRCPS* os autores têm usando a PSPLIB como base de teste para seus algoritmos. Porém estabelecer uma



forma de comparação adequada entre os trabalhos é uma tarefa complicada, pois nem sempre os autores utilizam os mesmos critérios de paradas. E, (Hartmann, 2001), utiliza-se o critério do número de escalonamentos gerados, já outros como (Damak et al., 2009) e (Bouleimen; Lecocq, 2003) utilizam como critério de parada um limite no tempo de processamento. As Tabelas de 17 a 22 mostram os resultados dos trabalhos dos autores para os diversos conjuntos de instâncias da PSPLIB.

<b>Heurísticas</b>	<b>Autor</b>	<b>Conjunto</b>	<b>Desvio Médio (%)</b>	<b>Viáveis (%)</b>	<b>Ótima (%)</b>
Evolução Diferencial	(Damak et al., 2009)	J10	0,09	-	99,30
Scatter Search	(Lorenzoni, 2003)	J10	0,05	100	99,25
Evolução Diferencial	(Lorenzoni, 2003)	J10	0,04	100	99,25
Algoritmo Genético	(Hartmann, 2001)	J10	0,06	100	98,70
Simulated Annealing	(Bouleimen; Lecocq, 2003)	J10	0,21	-	96,30
Colônia de Formigas	(Lorenzoni, 2003)	J10	0,32	100	93,66

**Tabela 17 - Resultados de outros trabalhos para o conjunto J10**

<b>Heurísticas</b>	<b>Autor</b>	<b>Conjunto</b>	<b>Desvio Médio (%)</b>	<b>Viáveis (%)</b>	<b>Ótima (%)</b>
Evolução Diferencial	(Damak et al., 2009)	J12	0,11	-	99,30
Algoritmo Genético	(Hartmann, 2001)	J12	0,14	100	97,30
Evolução Diferencial	(Lorenzoni, 2003)	J12	0,16	99,80	96,90
Scatter Search	(Lorenzoni, 2003)	J12	0,15	100	96,71
Simulated Annealing	(Bouleimen; Lecocq, 2003)	J12	0,19	-	91,20
Colônia de Formigas	(Lorenzoni, 2003)	J12	0,55	99,63	89,95

**Tabela 18 - Resultados de outros trabalhos para o conjunto J12**

<b>Heurísticas</b>	<b>Autor</b>	<b>Conjunto</b>	<b>Desvio Médio (%)</b>	<b>Viáveis (%)</b>	<b>Ótima (%)</b>
Evolução Diferencial	(Damak et al., 2009)	J14	0,34	-	97,60
Algoritmo Genético	(Hartmann, 2001)	J14	0,44	100	89,80
Scatter Search	(Lorenzoni, 2003)	J14	0,61	100	87,11
Evolução Diferencial	(Lorenzoni, 2003)	J14	0,60	99,64	87,10
Simulated Annealing	(Bouleimen; Lecocq, 2003)	J14	0,92	-	82,60
Colônia de Formigas	(Lorenzoni, 2003)	J14	1,40	99,82	78,04

**Tabela 19 - Resultados de outros trabalhos para o conjunto J14**

<b>Heurísticas</b>	<b>Autor</b>	<b>Conjunto</b>	<b>Desvio Médio (%)</b>	<b>Viáveis (%)</b>	<b>Ótima (%)</b>
Evolução Diferencial	(Damak et al., 2009)	J16	0,42	-	96,38
Algoritmo Genético	(Hartmann, 2001)	J16	0,59	100	87,80
Scatter Search	(Lorenzoni, 2003)	J16	0,80	100	82,91
Evolução Diferencial	(Lorenzoni, 2003)	J16	0,93	100	82,60
Simulated Annealing	(Bouleimen; Lecocq, 2003)	J16	1,81	-	74,73
Colônia de Formigas	(Lorenzoni, 2003)	J16	1,43	100	72,80

**Tabela 20 - Resultados de outros trabalhos para o conjunto J16**

<b>Heurísticas</b>	<b>Autor</b>	<b>Conjunto</b>	<b>Desvio Médio (%)</b>	<b>Viáveis (%)</b>	<b>Ótima (%)</b>
Evolução Diferencial	(Damak et al., 2009)	J18	0,59	-	94,43
Algoritmo Genético	(Hartmann, 2001)	J18	0,99	100	78,30
Scatter Search	(Lorenzoni, 2003)	J18	1,12	99,64	74,64
Evolução Diferencial	(Lorenzoni, 2003)	J18	1,49	99,80	73,30
Simulated Annealing	(Bouleimen; Lecocq, 2003)	J18	2,05	-	71,56
Colônia de Formigas	(Lorenzoni, 2003)	J18	1,85	99,64	69,40

**Tabela 21 - Resultados de outros trabalhos para o conjunto J18**

Heurísticas	Autor	Conjunto	Desvio Médio (%)	Viáveis (%)	Ótima (%)
Evolução Diferencial	(Damak et al., 2009)	J20	0,70	-	91,75
Algoritmo Genético	(Hartmann, 2001)	J20	1,21	100	73,30
Scatter Search	(Lorenzoni, 2003)	J20	1,59	100	70,04
Evolução Diferencial	(Lorenzoni, 2003)	J20	2,09	100	68,40
Colônia de Formigas	(Lorenzoni, 2003)	J20	2,84	100	67,51
Simulated Annealing	(Bouleimen; Lecocq, 2003)	J20	2,10	-	66,90

**Tabela 22 - Resultados de outros trabalhos para o conjunto J20**

Nas tabelas acima, a coluna “Desvio Médio” mostra o percentual do desvio médio dos respectivos algoritmos, a coluna “Viáveis” o percentual de soluções viáveis encontradas pelos algoritmos, quando disponíveis, e a coluna “Ótima” o percentual de soluções com valor igual ao valor ótimo das instâncias. Apesar de não haver uma forma clara que permita uma comparação mais razoável entre os resultados dos trabalhos encontrados na literatura, devido aos diferentes critérios empregados, pode-se notar que as duas metaheurísticas implementadas neste trabalho estão no mesmo nível que as outras apresentadas, com um tempo computacional, que apesar de um pouco maior é aceitável. Este maior tempo computacional pode ser explicado pelo fato de que as duas heurísticas implementadas só criam escalonamentos viáveis com relação à precedência e também com relação aos recursos não renováveis, característica que não está presente em algumas outras heurísticas.

## **7 ESTUDO DE CASO: ELABORAÇÃO DE UM CRONOGRAMA DE ATIVIDADES DE UM PROJETO DE MODERNIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE UMA REDE DE AGÊNCIAS BANCÁRIAS**

### **7.1 INTRODUÇÃO**

A crise mundial que começou no final do ano de 2008 vem afetando inúmeras empresas no mundo todo. Dentre os setores da economia mundial o ramo financeiro talvez tenha sido um dos mais afetados, inúmeros são os casos noticiados de bancos que vem enfrentando severas dificuldades financeiras em função dessa crise. Com a rede de agências bancárias deste estudo de caso não é diferente, apesar de que em menor escala ela não passou imune aos efeitos da crise.

Muitas foram as ações tomadas pela diretoria deste banco para tentar amenizar os efeitos da crise, ações estas que em sua maioria são norteadas para redução de despesas e racionalização de custos.

Como qualquer outra instituição financeira, o 'negócio' deste banco, ou seja, aquilo com qual ele obtém ganhos financeiros é a captação de recursos no mercado e o empréstimo, a juros, desses recursos captados. Neste processo, o contato com os clientes é uma etapa muito importante, seja ele pessoalmente ou por meio de outras formas. Dentre essas outras formas uma de grande importância é o contato telefônico, sendo que este é um dos meios preferidos de contato por parte dos clientes, para, por exemplo, fazer solicitação de informações, a verificação de pendências, retirada dúvidas e reclamações. No banco o telefone é uma ferramenta constantemente utilizada como, por exemplo, nos contatos comerciais para a oferta de produtos e serviços à clientes ou na realização de cobranças. Além do contato direto com os clientes o telefone também é utilizado para a comunicação entre as unidades do banco, seja entre agências ou entre agências e unidades administrativas. Por outro lado, vale destacar o custo envolvido no contexto de uma rede de agências bancárias relativo à comunicação fazendo uso da telefonia tradicional.

Focando-se no caso da telefonia, esse nicho de mercado evoluiu com uma velocidade impressionante. A tradicional telefonia *TDM (Time-Division Multiplexing)* evoluiu para a telefonia *VoIP (Voz sobre IP)* onde a infraestrutura de comunicação de dados é utilizada para o tráfego de voz, apesar de haver ainda a infraestrutura em separado para a telefonia. Hoje o mundo experimenta a chamada convergência de redes de comunicação, e a telefonia está evoluindo para a chamada telefonia puramente *IP<sup>2</sup>*, onde não há a necessidade de infraestrutura diferentes para o tráfego de voz e dados, apesar da coexistência dessas três tecnologias. Implementar essa nova tecnologia é uma das metas do projeto de modernização tecnológica, por parte do tecnológico, e a redução de custos é outra, do ponto de vista administrativo.

A rede de agências bancárias deste estudo de caso possui, pelo menos, uma agência em cada cidade do estado do Espírito Santo, já possuindo assim uma infraestrutura montada de comunicação de dados. A redução de custos vai advir da utilização desta infraestrutura de comunicação de dados para o tráfego de voz.

Assim, por exemplo, na comunicação entre agências não será mais necessário a utilização da infraestrutura da operadora de telefonia pública da região, pois as ligações serão originadas e terminadas dentro da própria infraestrutura da instituição. A comunicação entre agências e clientes também pode utilizar essa infraestrutura, pois as ligações originadas dentro do banco serão encaminhadas até a agência mais próxima do telefone chamado, de onde alcançarão a rede de telefonia pública, gerando uma ligação com uma menor tarifação.

## 7.2 O PROJETO DE MODERNIZAÇÃO TECNOLÓGICA

As fases iniciais do projeto foram compostas de atividades como, a definição das quantidades totais de equipamentos a serem adquiridos, a especificação destes, definição da velocidade necessária dos *links* de comunicação, a definição do protocolo de comunicação de rede a ser utilizado, além de fases administrativas como, por exemplo, a aprovação por parte da diretoria, parecer do corpo jurídico e licitação. Como essas atividades já haviam sido executadas elas não foram

---

<sup>2</sup> Internet Protocol – Protocolo de comunicação de dados

consideradas na realização do cronograma, sendo levadas em consideração as ações técnicas que haveriam de ser executadas nas agências. Essas ações foram condensadas em três macroatividades nomeadas da seguinte forma: levantamento, reforma e atualização.

Em levantamento são executadas ações para o conhecimento dos quantitativos e do estado dos ativos de informática existentes na agência, por exemplo, a quantidade de micros, impressoras e aparelhos telefônicos, a identificação dos pontos de redes de tais equipamentos, a verificação se os micros estão ligados através de *hubs* ou *switches*, a verificação do estado do cabeamento da agência entre outras ações menores.

Para algumas agências era de conhecimento prévio a necessidade de uma reforma, pois a mesma não possuía uma sala de TI (Tecnologia da Informação) adequada para a acomodação dos novos equipamentos, o acesso (infraestrutura pela qual a operadora do *link* traz o seu cabeamento da rua para dentro da agência) apresentava problemas ou o cabeamento existente dentro da agência apresentava problemas. Devido a estes e outros fatores em algumas agências havia a necessidade dessa reforma, executada por uma empresa terceirizada, para a adequação dessas anormalidades, que só poderia ser executada depois da atividade de levantamento.

Por último na fase de atualização, é efetuado o aumento do *link* de comunicação de dados. São efetuadas também as trocas dos equipamentos de comunicação de dados, como roteadores, *switches* por equipamentos mais novos, além da interconexão destes. Nesta fase ocorre também a atualização da telefonia que inclui a troca dos equipamentos antigos de telefonia, como *PABX*<sup>3</sup>, *gateway* de telefonia e aparelhos telefônicos pelos novos para a operacionalização da telefonia *IP*.

Dado os elevados custos referentes à comunicação telefônica do banco, quanto mais rápido ocorrer a implantação do projeto de modernização tecnológica, mais rapidamente serão obtidos os benefícios advindos desta implantação. Como a quantidade de atividades envolvidas neste projeto é grande e os recursos envolvidos são escassos, definir a forma de execução das atividades respeitando-se todas as

---

<sup>3</sup> Central telefônica privada

restrições envolvidas, minimizando o tempo total de duração do projeto, torna-se uma tarefa extremamente complicada. O objetivo deste estudo de caso é então o desenvolvimento de uma ferramenta computacional que apóie a elaboração do cronograma, indicando uma forma de execução das tarefas que minimize o tempo total de execução respeitando os recursos envolvidos.

### 7.3 GERAÇÃO DOS DADOS

A rede de agências bancárias deste estudo de caso possui pelo menos uma unidade em cada município, assim as agências são agrupadas, de acordo com a região do município em que se encontra em três grupos que são: Região Norte, Região Centro e Região Sul. Além da classificação quanto a localização geográfica, as agências possuem outra baseada em seu volume financeiro movimentado classificadas como, pequena, média e grande. A classificação quanto ao tamanho é importante, pois é com base nela que serão geradas as precedências entre as atividades de duas agências distintas. A Tabela 23 mostra tais classificações, as letras P, M e G, indicam os respectivos tamanhos das agências.

Região Norte		Região Centro		Região Sul	
ÁGUA DOCE DO NORTE	P	BELA AURORA	G	AFONSO CLÁUDIO	P
ÁGUA BRANCA	P	CAMPO GRANDE	P	ALEGRE	M
ALTO RIO NOVO	P	CARAPINA	G	ALFREDO CHAVES	P
ARACRUZ	G	CARIACICA	M	ANCHIETA	G
BAIXO GUANDU	P	CEASA	P	APIACÁ	P
BARRA DE SÃO FRANCISCO	G	CENTRAL	G	ATÍLIO VIVÁQUA	P
BOA ESPERANÇA	M	CIVIT	G	BERNARDO HORTA	M
COLATINA	G	COBILÂNDIA	G	BNH	G
CONCEIÇÃO DA BARRA	G	CODESA	M	BOM JESUS DO NORTE	P
ECOPORANGA	M	COQUEIRAL DE ARACRUZ	P	BREJETUBA	P
GOVERNADOR LINDENBERG	P	DOMINGOS MARTINS	P	CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM	G
GUARANÁ	P	ESPLANADA	G	CASTELO	G
IBIRAÇU	G	FUNDÃO	P	CONCEIÇÃO DO CASTELO	P
ITAGUAÇU	P	GLÓRIA	M	DIVINO DE SÃO LOURENÇO	P
ITARANA	M	GOIABEIRAS	G	DORES DO RIO PRETO	P
JACUPEMBA	P	GRACIANO NEVES	M	GUAÇUI	M
JAGUARÉ	M	GUARAPARI	G	IBATIBA	P
JOÃO NEIVA	P	IBES	P	IBITIRAMA	P
JUPARANÁ	P	ITACIBÁ	P	ICONHA	M
LINHARES	P	COQUEIRAL DE ITAPARICA	M	IRUPI	P
MANTENÓPOLIS	P	ITAPOÃ	M	ITAOCA	P
MARILÂNDIA	P	JACARAÍPE	P	ITAPEMIRIM	P



MONTANHA	M	JARDIM AMÉRICA	M	IUNA	P
MUCURICI	P	JARDIM CAMBURI	M	JERÔNIMO MONTEIRO	P
NANUQUE	P	JARDIM DA PENHA	M	LARANJA DA TERRA	P
NOVA VENÉCIA	M	JUCUTUQUARA	G	MARATAIZES	P
PANCAS	P	LARANJEIRAS	G	MIMOSO DO SUL	M
PEDRO CANÁRIO	G	MARECHAL FLORIANO	P	MUNIZ FREIRE	P
PINHEIROS	M	MARUÍPE	P	MUQUI	P
PONTO BELO	P	MOSCOSO	M	PIÚMA	M
RIO BANANAL	P	MUQUIÇABA	M	PRESIDENTE KENNEDY	P
SANTA TERESA	M	NOVA ALMEIDA	P	RIO NOVO DO SUL	P
SAO DOMINGOS DO NORTE	P	PEDRA AZUL	P	SÃO JOSÉ DO CALÇADO	P
SÃO GABRIEL DA PALHA	M	PLANALTO CARAPINA	P	VARGEM ALTA	P
SÃO MATEUS	M	PORTO CANOA	P	VENDA NOVA DO IMIGRANTE	P
SÃO ROQUE DO CANAÃ	P	PRAIA DO CANTO	G		
SÃO SILVANO	M	PRAIA DO SUÁ	M		
SOORETAMA	P	SANTA LEOPOLDINA	P		
VILA JOSÉ CARLOS	P	SANTA LÚCIA	G		
VILA PAVÃO	P	SANTA MARIA DE JETIBÁ	M		
VILA VALÉRIO	P	SANTO ANTÔNIO	P		
		SÃO PEDRO	P		
		SÃO TORQUATO	P		
		SERRA	M		
		TERRA VERMELHA	P		
		TRIBUNAL DE JUSTIÇA	G		
		VIANA	M		
		VILA RUBIM	P		
		VILA VELHA	G		
		VITÓRIA	G		

**Tabela 23 - Classificação das agências quanto a sua localização geográfica e tamanho**

Como para cada agência são necessárias ao menos duas atividades a criação de uma única instância contemplando todas as unidades, tornaria a instância demasiadamente grande, pois ela teria ao menos duzentas e cinquenta e duas atividades, demandando assim um tempo computacional enorme para a sua resolução. A criação de instâncias baseada na classificação geográfica ou na classificação quanto ao seu tamanho também levava a mesma situação anterior. Assim as agências foram agrupadas de acordo com outros critérios tais como a sua proximidade geográfica e a facilidade de locomoção entre elas. Para a definição destes grupos foi utilizado a experiência profissional dos técnicos que constantemente se deslocam entre as localidades. As tabelas 24, 25 e 26 mostram os grupos criados e as agências pertencentes a estes grupos.

GRUPO 1 CENTRO	GRUPO 2 CENTRO	GRUPO 3 CENTRO	GRUPO 4 CENTRO
CENTRAL	BELA AURORA	CARAPINA	COBILÂNDIA
CODESA	CAMPO GRANDE	CIVIT	GLÓRIA
ESPLANADA	CARIACICA	JACARAÍPE	IBES
GOIABEIRAS	CEASA	LARANJEIRAS	ITAPERICA
GRACIANO NEVES	ITACIBA	NOVA ALMEIDA	ITAPOÁ
JARDIM CAMBURI	JARDIM AMÉRICA	PLANALTO CARAPINA	SÃO TORQUATO
JARDIM DA PENHA		PORTO CANOÁ	TERRA VERMELHA
JUCUTOQUARA		SERRA	VILA VELHA
PRAIA CANTO			
PRAIA SUA			
SANTA LUCIA			
SANTO ANTONIO			
SÃO PEDRO			
VILA RUBIM			
VITÓRIA			
MARUIPE			
MOSCOSO			
TRIBUNAL JUSTIÇA			

GRUPO 5 CENTRO
COQUEIRAL
DOMINGOS MARTINS
FUNDÃO
GURAPARI
MARCHEL FLORIANO
MUQUIÇABA
PEDRA AZUL
SANTA LEOPOLDINA
SANTA MARIA JETIBA
VIANA

Tabela 24 - Grupos de agências da região centro

GRUPO 1 NORTE	GRUPO 2 NORTE	GRUPO 3 NORTE	GRUPO 4 NORTE
ÁGUA DOCE DO NORTE	BOA ESPERANÇA	ARACRUZ	BAIXO GUANDU
ÁGUIA BRANCA	CONCEIÇÃO DA BARRA	GURAMÁ	COLATINA
ALTO RIO NOVO	MONTANHA	IBIRACU	ITAGUACU
BARRA DE SÃO FRANCISCO	MUCURICI	JACUPEMBA	ITABANA
ECOPORANGA	PEDRO CANÁRIO	JAGUARE	MARILÂNDIA
MANTENOPOLIS	PINHEIRO	JOÃO MEIVA	PANCAS
SÃO GABRIEL DA PALMA	PONTO BELO	JUPARANA	SANTA TERESA
VILA PAVAO	VILA JOSÉ CARLOS	LINHARES	SÃO ROQUE
MANUQUE			SÃO SILVANO

GRUPO 5 NORTE
GOVERNADOR LIMDEMBERG
NOVA VENEZIA
RIO BANANAL
SÃO DOMINGOS
SÃO MATEUS
SOCRETAMA
VILA VALÉRIO

Tabela 25 - Grupos de agências da região norte

GRUPO 1 SUL	GRUPO 2 SUL	GRUPO 3 SUL
APIACA	ALEGRE	ALFREDO CHAVES
BOM JESUS DO NORTE	ATILIO VIACQUA	ANCHIETA
DIVINO SÃO LOURENÇO	CACHOEIRO DO ITAPEMIRIM	BERNARDO HORTA
DORES DO RIO PRETO	ICOMBA	BMH
GUAÇUI	ITAPEMIRIM	EREJETUBA
IBATIÁ	JERÔNIMO MONTEIRO	CASTELO
IRUPI	MAPATAIZES	CONCEIÇÃO DO CASTELO
IUNA	MUQUI	IBITIRAMA
MIMOSO DO SUL	PIÚMA	ITAOCA
PRESIDENTE KENNEDY	RIO NOVO DO SUL	LARANJA TERRA
SÃO JOSÉ DO CALÇADO		MUNIZ FREIRE
AFONSO CLAUDIO		VEREDA NOVA DO IMIGRANTE

**Tabela 26 - Grupos de agências da região sul**

Esses grupos criados foram utilizados para a criação das instâncias do estudo de caso. Assim cada grupo foi considerado de forma separada. O que se procura saber é, dada uma data a ser definida para a execução das atividades em um grupo, qual é a forma rápida de execução das atividades utilizando-se os recursos alocados. Todas as informações utilizadas sobre o tempo de execução das atividades, custos envolvidos, quantidades disponibilizadas dos recursos foram obtidas a partir das informações de premissas de projeto ou através da experiência dos profissionais envolvidos.

Como já citado, as precedências foram criadas a partir da classificação das agências quanto ao seu tamanho, assim o levantamento em uma agência classificada como média só pode ser iniciada após o levantamento em todas as agências grandes tiver acabado. Esse critério serve também como precedência para agências médias e pequenas. Outra forma de precedência é que uma reforma de uma agência não pode ser iniciada antes que o levantamento da mesma tenha acabado bem como a atualização não pode acontecer antes do término da reforma ou do levantamento.

Assim foram criadas treze instâncias baseadas nestes grupos, o tempo de processamento das atividades é dado em horas, os recursos renováveis são os funcionários alocados e veículos destinados à locomoção entre as unidades, sendo respectivamente oito e três unidades as quantidades disponíveis. Como todas as atividades do projeto são impactantes para o funcionamento de uma agência as mesmas devem ser iniciadas fora do expediente de atendimento ao público, de forma a minimizar tal impacto, sendo assim executadas em regime de hora extra.

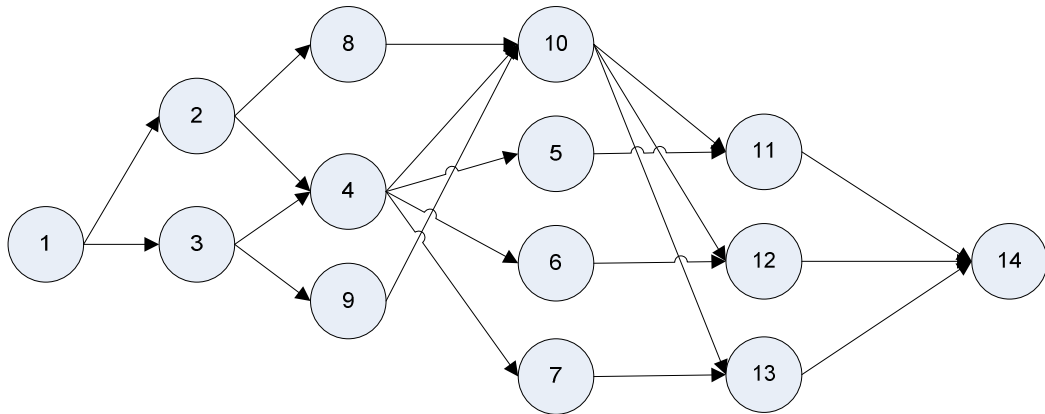
Desta forma temos caracterizado como recursos não renováveis o total de horas extras disponíveis bem como o montante financeiro disponibilizado para a execução das tarefas. Na Tabela 27, são mostradas algumas das informações sobre as instâncias criadas, outras informações como a descrição das atividades, suas precedências, tempos de execução, consumo dos recursos estão no Anexo 1 onde encontra-se as instâncias no mesmo formato que as instâncias da PSPLIB.

Instância	Quantidade de Atividades	Quantidade do Recurso Renovável 1	Quantidade do Recurso Renovável 2	Quantidade do Recurso Não Renovável 1	Quantidade do Recurso Não Renovável 2
NORTE1	22	8	3	130	R\$ 5.000,00
NORTE2	22	8	3	150	R\$ 5.000,00
NORTE3	21	8	3	170	R\$ 5.000,00
NORTE4	25	8	3	140	R\$ 5.000,00
NORTE5	18	8	3	85	R\$ 3.000,00
CENTRO1	43	8	3	450	R\$ 14.000,00
CENTRO2	14	8	3	120	R\$ 3.800,00
CENTRO3	19	8	3	150	R\$ 5.000,00
CENTRO4	18	8	3	160	R\$ 5.000,00
CENTRO5	26	8	3	170	R\$ 5.000,00
SUL1	33	8	3	140	R\$ 7.000,00
SUL2	28	8	3	160	R\$ 6.000,00
SUL3	30	8	3	200	R\$ 7.500,00

**Tabela 27 – Informações das instâncias do estudo de caso**

1	INÍCIO
2	LEVANTAMENTO AG. CAMPO GRANDE
3	LEVANTAMENTO AG. CEASA
4	LEVANTAMENTO AG. JARDIM AMÉRICA
5	LEVANTAMENTO AG. BELA AURORA
6	LEVANTAMENTO AG. CARIACICA
7	LEVANTAMENTO AG. ITACIBÁ
8	ATUALIZAÇÃO AG. CAMPO GRANDE
9	ATUALIZAÇÃO AG. CEASA
10	ATUALIZAÇÃO AG. JARDIM AMÉRICA
11	ATUALIZAÇÃO AG. BELA AURORA
12	ATUALIZAÇÃO AG. BELA CARIACICA
13	ATUALIZAÇÃO AG. ITACIBÁ
14	FIM

**Tabela 28 - Descrição das atividades da instância CENTRO2**



**Figura 11 – Rede de atividade em nó da instância CENTRO2**

## 7.4 RESULTADOS COMPUTACIONAIS

Uma ferramenta computacional baseada nos dois procedimentos propostos neste trabalho foi executada com as instâncias do estudo de caso. Como geralmente um projeto em uma organização é único, não há massa de dados para a comparação. Assim foram implementadas três outras estratégias de resolução, para se comparar os resultados obtidos pela ferramenta com os destas. A primeira foi uma forma totalmente gulosa onde as atividades eram escalonadas sempre no seu modo de menor duração. A segunda estratégia busca reduzir os custos da execução do projeto, priorizando os modos com os menores consumos dos recursos não renováveis. Finalmente, a terceira alternativa explora uma estratégia totalmente aleatória. Desta forma foi-se designada por “guloso”, “menor recurso” e “aleatória” as três estratégia implementadas. Todos os procedimentos foram executados uma única vez para as instâncias do estudo de caso e a Tabela 29 compara os resultados das respostas obtidas dentre as três estratégias com os resultados dos dois procedimentos.

Instância	GULOSO		MENOR RECURSO		ALEATÓRIO		VNS		SA	
	Makespan	Tempo (s)	Makespan	Tempo (s)	Makespan	Tempo (s)	Makespan	Tempo (s)	Makespan	Tempo (s)
NORTE1	40,5	0,01	41,5	0,01	41,1	0,12	37,5	1054,09	36,5	433,29
NORTE2	47,5	0,01	39,0	0,01	42,5	0,07	34,5	570,50	32,5	282,79
NORTE3	42,0	0,01	45,5	0,01	43,0	0,14	32,5	714,97	30,5	425,60
NORTE4	39,5	0,01	45,0	0,01	41,5	0,01	38,5	1081,20	35,5	500,79
NORTE5	33,0	0,01	34,5	0,01	31,5	13,24	27,5	475,80	27,5	186,34
CENTRO1	80,0	0,01	71,0	0,03	70,5	0,01	58,0	6547,02	58,5	5282,67
CENTRO2	27,5	0,01	25,0	0,01	23,5	0,01	23,5	117,98	21,5	56,94
CENTRO3	38,5	0,01	36,0	0,01	38,0	0,01	27,0	365,05	27,0	158,04
CENTRO4	36,5	0,01	34,0	0,01	31,0	0,01	25,0	207,37	24,0	125,51
CENTRO5	45,5	0,01	50,0	0,01	42,5	2,41	32,0	1341,35	31,5	583,70
SUL1	45,5	0,03	43,5	0,01	39,0	262,50	33,5	26148,20	33,5	1791,85
SUL2	44,5	0,08	47,5	0,01	43,5	4,05	39,0	1951,28	38,0	882,92
SUL3	56,5	0,01	56,0	0,01	50,0	0,01	50,0	3339,32	42,5	1039,87

Tabela 29 - Resultados obtidos

A Figura 12 confronta visualmente os resultados obtidos pelo VNS e pelo SA com os melhores resultados obtidos dentre as três estratégias implementadas.

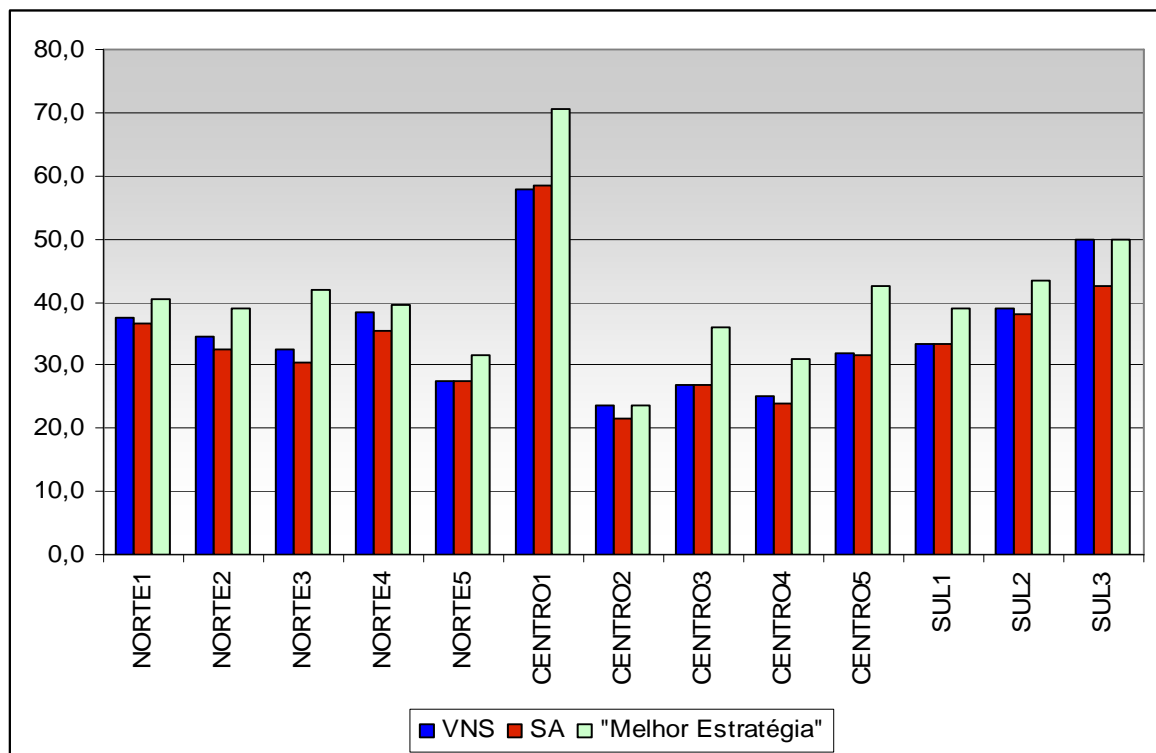


Figura 12 - Gráfico de comparação dos resultados do estudo de caso

A Figura 12 mostra que mesmo considerando a melhor resposta obtida pelas três estratégias o valor do *makespan* melhora muito quando da utilização do SA e do

VNS. Para cada uma das instâncias do estudo de caso a Tabela 29, mostra o percentual de melhoria no valor do *makespan* obtido aplicando-se as metaheurísticas.

Instância	Melhoria
NORTE1	9,88%
NORTE2	16,67%
NORTE3	27,38%
NORTE4	10,13%
NORTE5	12,70%
CENTRO1	17,73%
CENTRO2	8,51%
CENTRO3	25,00%
CENTRO4	22,58%
CENTRO5	25,88%
SUL1	14,10%
SUL2	12,64%
SUL3	15,00%

**Tabela 30 - Percentual de melhoria obtido pela utilização ferramenta proposta no estudo de caso**

## 8 CONCLUSÃO

O grande número de problemas reais que podem ser modelados e resolvidos via *MMRCPSP* juntamente com a inerente dificuldade da resolução deste problema, atraem a atenção dos pesquisadores que continuam buscando novos métodos de resolução, destacando-se as abordagens metaheurísticas que vem conseguindo bons resultados em tempos computacionais razoáveis.

Na primeira parte do trabalho foram apresentadas duas abordagens para a solução do *MMRCPSP*, uma baseada em *Simulated Annealing* e outra em *Variable Neighborhood Search*, esta última até então não encontrada na literatura aplicada à resolução do problema. Ambas obtiveram bons resultados, considerando o percentual de soluções obtidas com *makespan* igual aos melhores valores conhecidos e o desvio médio, colocando-os no nível dos melhores procedimentos conhecidos até então para a resolução do problema.

Na segunda parte, foi descrito um projeto de modernização tecnológica de uma rede de agências bancárias e proposta uma ferramenta computacional que apoiasse a criação de um cronograma de execução das atividades deste projeto. Como não havia massa de dados para a comparação dos resultados três estratégias diferentes de execução das atividades foram propostas. A comparação dos resultados mostrou que a utilização da ferramenta melhora significativamente a qualidade das respostas obtidas e que a criação do cronograma com base nestas respostas reduzirá consideravelmente o tempo de execução do projeto.

A ferramenta proposta no estudo de caso foi usada unicamente com as atividades do projeto de modernização tecnológica, mas a mesma pode ser utilizada em outras áreas na rede de agências bancárias, como por exemplo, na criação de cronograma de atendimento de chamados técnicos. Todos os dias o setor de manutenção em informática do banco recebe inúmeros chamados técnicos solicitando, por exemplo, reparos, trocas ou remanejamento dos ativos de informática. Esses chamados são aleatoriamente distribuídos entre os técnicos deste setor que ficam encarregados do atendimento. A utilização dessa ferramenta nesse caso auxiliaria na criação de um



cronograma de atendimento desses chamados, fornecendo aos usuários uma estimativa de atendimento, sendo a ausência desta estimativa uma queixa frequente por parte dos usuários.

Com relação aos procedimentos, como perspectiva futura, pode-se combinar as duas abordagens propostas, por exemplo, um *Simulated Annealing* com uma fase pós otimização baseada na VNS. Nesse trabalho, não se pode afirmar que um procedimento foi “dominante” com relação ao outro, pois para algumas instâncias o VNS encontrou um *makespan* igual ao melhor valor conhecido e o SA não, já para outro o contrário aconteceu, o SA encontrou um *makespan* igual ao melhor valor conhecido e o VNS não.

O estudo de caso deste trabalho mostrou uma aplicação do *MMRCPS* na criação de cronogramas em gerenciamento de projetos, considerado apenas a minimização do *makespan* como critério de otimização. Este é apenas um dos vários critérios que podem ser utilizados. Assim as perspectivas futuras deste trabalho incluem a adição de novos objetivos, como por exemplo, a minimização dos recursos utilizados. Em gerenciamento de projetos, nem sempre, um único objetivo é suficiente para modelar a realidade de um projeto. Devido a isso, inclui-se também nas perspectivas futuras, a utilização de mais de um objetivo simultâneo, o conhecido multiobjetivo, como critério de otimização.

## 9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

Błażewicz, J., Lenstra, J.K., Rinnooy Kan, 1983, Scheduling subject to resource constraints: Classification and complexity. *Discrete Applied Mathematics* 5, 11-24.

Bouleimen, K., Lecocq, H., 2003. A new efficient simulated annealing algorithm for the resource-constrained project scheduling problem and its multiple mode version. *European Journal of Operational Research* 149, 268-281.

Černý, V., 1985, A thermodynamic approach to the traveling salesman problem: An efficient simulation algorithm. *Journal of Optimization Theory and Applications* 45, 41-51.

Christofides, N., Alvarez-Valdes, 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, 2653-2659.

Hansen, P., Mladenović, N., 2001, Variable neighborhood search: Principles and applications. *European Journal of Operational Research* 130, 449-367.

Hartmann, S., Drexl, A. 1998, Project scheduling with multiple modes: A comparison of exact algorithms. *Networks* 32, 283-297.

Hartmann, S., 2001, Project scheduling with multiple modes: A genetic algorithm. *Annals of Operations Research* 102, 111-135.

Józefowska, J., Mika, M., Różycki, R., Waligóra, G., Węglarz, J., 2001, Simulated Annealing for multi-mode resource-constrained project scheduling. *Annals of Operations Research* 102, 137-155.

Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D. Jr., Vecchi, M. P., 1983, Optimization by Simulated Annealing. *Science* 220, 671-680.

Kolisch, R., Drexl, A., 1997, Local search for nonpreemptive multi-mode resource-constrained project scheduling. *IIE Transactions* 29, 987-999.

Kolisch, R., Sprecher, A., 1996, PSPLIB—A project scheduling problem library. *European Journal of Operational Research* 96, 205–216.

Leal, A. J. S., 2007, 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: 10 mar. 2009.

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), Doutorado em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil, 157 p.

Lova, A., Tormos, P., Barber, F., 2006, Multi-mode resource constrained project scheduling: Scheduling schemes, priority rules and mode selection rules. *Inteligência Artificial* 30, 69-86.

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

Sprecher, A., Drexler, A., 1998, Solving multi-mode resource constrained Project scheduling problems by a simple, general and powerful sequencing algorithm. *European Journal of Operational Research* 107, 431-450.

Sprecher, A., Hartmann, S., Drexler, A., 1997, An exact algorithm for project scheduling with multiple modes. *OR Spektrum* 19, 195-203.

## 10 ANEXO 1

```

jobs (incl. supersource/sink ): 22
RESOURCES
- renewable           : 2  R
- nonrenewable       : 2  N
- doubly constrained  : 0  D
*****
PRECEDENCE RELATIONS:
jobnr.   #modes  #successors  successors
1         1         1           2
2         3         3           13    3    4
3         3         6           11    5    6    7    8    9
4         3         6           15    5    6    7    8    9
5         3         1           16
6         3         1           17
7         3         1           12
8         3         1           19
9         3         1           20
10        3         1           21
11        1         1           14
12        1         1           18
13        3         2           14    15
14        3         6           16    17    18    19    20    21
15        3         6           16    17    18    19    20    21
16        3         1           22
17        3         1           22
18        3         1           22
19        3         1           22
20        3         1           22
21        3         1           22
22        1         0
*****
REQUESTS/DURATIONS:
jobnr.  mode  duration  R 1  R 2  N 1  N 2
-----
1        1        0        0  0  0  0
2        1        2,5       5  2  12,5  650
         2        3,0       4  2  12,0  520
         3        4,0       2  1   8,0  260
3        1        2,0       4  2   8,0  520
         2        2,5       3  1   7,5  390
         3        3,5       2  1   7,0  260
4        1        2,0       4  2   8,0  520
         2        2,5       3  1   7,5  390
         3        3,5       2  1   7,0  260
5        1        1,5       3  1   4,5  390
         2        2,0       2  1   4,0  260
         3        3,0       1  1   3,0  130
6        1        1,5       3  1   4,5  390
         2        2,0       2  1   4,0  260
         3        3,0       1  1   3,0  130
7        1        1,5       3  1   4,5  390
         2        2,0       2  1   4,0  260
         3        3,0       1  1   3,0  130
8        1        1,5       3  1   4,5  390
         2        2,0       2  1   4,0  260
         3        3,0       1  1   3,0  130
9        1        1,5       3  1   4,5  390
         2        2,0       2  1   4,0  260
         3        3,0       1  1   3,0  130
10       1        1,5       3  1   4,5  390
         2        2,0       2  1   4,0  260
         3        3,0       1  1   3,0  130
11       1       16,0       0  0   0  0
12       1       16,0       0  0   0  0
13       1        5,5       5  2  27,5  650

```

	2	6,5	4	2	26,0	520
	3	9,0	2	1	18,0	260
14	1	4,5	4	2	18,0	520
	2	5,0	3	1	15,0	390
	3	6,0	2	1	12,0	260
15	1	4,5	4	2	18,0	520
	2	5,0	3	1	15,0	390
	3	6,0	2	1	12,0	260
16	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
17	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
18	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
19	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
20	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
21	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
22	1	0	0	0	0	0
*****						
RESOURCEAVAILABILITIES:						
R 1 R 2 N 1 N 2						
8 3 130 5000						
*****						

Tabela 31 - Instância Norte 1

```

jobs (incl. supersource/sink ): 22
RESOURCES
- renewable           : 2 R
- nonrenewable       : 2 N
- doubly constrained  : 0 D
*****
PRECEDENCE RELATIONS:
jobnr.   #modes  #successors  successors
1         1         2           2      3
2         3         4           13     4      5      6
3         3         4           14     4      5      6
4         3         4           10     7      8      9
5         3         4           11     7      8      9
6         3         4           12     7      8      9
7         3         1           13
8         3         1           20
9         3         1           21
10        1         1           16
11        1         1           17
12        1         1           18
13        1         1           19
14        3         3           16     17     18
15        3         3           16     17     18
16        3         3           19     20     21
17        3         3           19     20     21
18        3         3           19     20     21
19        3         1           22
20        3         1           22
21        3         1           22
22        1         0
*****
REQUESTS/DURATIONS:
jobnr. mode duration  R 1  R 2  N 1  N 2
-----
1         1         0         0  0  0  0
2         1         2,5        5  2 12,5 650
          2         3,0         4  2 12,0 520
          3         4,0         2  1  8,0 260
    
```

3	1	2,5	5	2	12,5	650
	2	3,0	4	2	12,0	520
	3	4,0	2	1	8,0	260
4	1	2,0	4	2	8,0	520
	2	2,5	3	1	7,5	390
	3	3,5	2	1	7,0	260
5	1	2,0	4	2	8,0	520
	2	2,5	3	1	7,5	390
	3	3,5	2	1	7,0	260
6	1	2,0	4	2	8,0	520
	2	2,5	3	1	7,5	390
	3	3,5	2	1	7,0	260
7	1	1,5	3	1	4,5	390
	2	2,0	2	1	4,0	260
	3	3,0	1	1	3,0	130
8	1	1,5	3	1	4,5	390
	2	2,0	2	1	4,0	260
	3	3,0	1	1	3,0	130
9	1	1,5	3	1	4,5	390
	2	2,0	2	1	4,0	260
	3	3,0	1	1	3,0	130
10	1	16,0	0	0	0	0
11	1	16,0	0	0	0	0
12	1	16,0	0	0	0	0
13	1	16,0	0	0	0	0
14	1	5,5	5	2	27,5	650
	2	6,5	4	2	26,0	520
	3	9,0	2	1	18,0	260
15	1	5,5	5	2	27,5	650
	2	6,5	4	2	26,0	520
	3	9,0	2	1	18,0	260
16	1	4,5	4	2	18,0	520
	2	5,0	3	1	15,0	390
	3	6,0	2	1	12,0	260
17	1	4,5	4	2	18,0	520
	2	5,0	3	1	15,0	390
	3	6,0	2	1	12,0	260
18	1	4,5	4	2	18,0	520
	2	5,0	3	1	15,0	390
	3	6,0	2	1	12,0	260
19	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
20	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
21	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
22	1	0	0	0	0	0

\*\*\*\*\*

RESOURCEAVAILABILITIES:

R 1	R 2	N 1	N 2
8	3	150	5000

\*\*\*\*\*

**Tabela 32 - Instância Norte 2**

```

jobs (incl. supersource/sink ): 21
RESOURCES
- renewable           : 2  R
- nonrenewable       : 2  N
- doubly constrained : 0  D
*****
PRECEDENCE RELATIONS:
jobnr.  #modes  #successors  successors
1        1        3           2      3      4
2        3        1           5
3        3        1           5
4        3        1           5
5        3        4          11     6     7     8
6        3        1          17
7        3        1          12
8        3        1          18
9        3        1          20
10       1        1          14
    
```

11	1	1	16		
12	1	1	19		
13	3	1	16		
14	3	1	16		
15	3	1	16		
16	3	3	17	18	19
17	3	1	21		
18	3	1	21		
19	3	1	21		
20	3	1	21		
21	1	0			
*****					
REQUESTS/DURATIONS:					
jobnr. mode duration R 1 R 2 N 1 N 2					
-----					
1	1	0	0	0	0
2	1	2,5	5	2	12,5 650
	2	3,0	4	2	12,0 520
	3	4,0	2	1	8,0 260
3	1	2,5	5	2	12,5 650
	2	3,0	4	2	12,0 520
	3	4,0	2	1	8,0 260
4	1	2,5	5	2	12,5 650
	2	3,0	4	2	12,0 520
	3	4,0	2	1	8,0 260
5	1	2,0	4	2	8,0 520
	2	2,5	3	1	7,5 390
	3	3,5	2	1	7,0 260
6	1	1,5	3	1	4,5 390
	2	2,0	2	1	4,0 260
	3	3,0	1	1	3,0 130
7	1	1,5	3	1	4,5 390
	2	2,0	2	1	4,0 260
	3	3,0	1	1	3,0 130
8	1	1,5	3	1	4,5 390
	2	2,0	2	1	4,0 260
	3	3,0	1	1	3,0 130
9	1	1,5	3	1	4,5 390
	2	2,0	2	1	4,0 260
	3	3,0	1	1	3,0 130
10	1	16,0	0	0	0 0
11	1	16,0	0	0	0 0
12	1	16,0	0	0	0 0
13	1	5,5	5	2	27,5 650
	2	6,5	4	2	26,0 520
	3	9,0	2	1	18,0 260
14	1	5,5	5	2	27,5 650
	2	6,5	4	2	26,0 520
	3	9,0	2	1	18,0 260
15	1	5,5	5	2	27,5 650
	2	6,5	4	2	26,0 520
	3	9,0	2	1	18,0 260
16	1	4,5	4	2	18,0 520
	2	5,0	3	1	15,0 390
	3	6,0	2	1	12,0 260
17	1	3,0	3	1	9,0 390
	2	4,0	2	1	8,0 260
	3	6,0	1	1	6,0 130
18	1	3,0	3	1	9,0 390
	2	4,0	2	1	8,0 260
	3	6,0	1	1	6,0 130
19	1	3,0	3	1	9,0 390
	2	4,0	2	1	8,0 260
	3	6,0	1	1	6,0 130
20	1	3,0	3	1	9,0 390
	2	4,0	2	1	8,0 260
	3	6,0	1	1	6,0 130
21	1	0	0	0	0
*****					
RESOURCEAVAILABILITIES:					
R 1 R 2 N 1 N 2					
8 3 170 5000					
*****					

Tabela 33 - Instância Norte 3

```

jobs (incl. supersource/sink ): 25
RESOURCES
- renewable           : 2  R
- nonrenewable       : 2  N
- doubly constrained  : 0  D
*****
PRECEDENCE RELATIONS:
jobnr.   #modes #successors  successors
  1         1         1           2
  2         3         4          16   3   4   5
  3         3         6          17   6   7   8   9  10
  4         3         6          11   6   7   8   9  10
  5         3         6          12   6   7   8   9  10
  6         3         1          20
  7         3         1          13
  8         3         1          14
  9         3         1          15
 10        3         1          24
 11         1         1          18
 12         1         1          19
 13         1         1          21
 14         1         1          22
 15         1         1          23
 16         3         3          17   18  19
 17         3         5          20  21  22  23  24
 18         3         5          20  21  22  23  24
 19         3         5          20  21  22  23  24
 20         3         1          25
 21         3         1          25
 22         3         1          25
 23         3         1          25
 24         3         1          25
 25         1         0
*****
REQUESTS/DURATIONS:
jobnr. mode duration  R 1  R 2  N 1  N 2
-----
  1     1     0       0  0  0  0
  2     1     2,5     5  2 12,5 650
      2     3,0     4  2 12,0 520
      3     4,0     2  1  8,0 260
  3     1     2,0     4  2  8,0 520
      2     2,5     3  1  7,5 390
      3     3,5     2  1  7,0 260
  4     1     2,0     4  2  8,0 520
      2     2,5     3  1  7,5 390
      3     3,5     2  1  7,0 260
  5     1     2,0     4  2  8,0 520
      2     2,5     3  1  7,5 390
      3     3,5     2  1  7,0 260
  6     1     1,5     3  1  4,5 390
      2     2,0     2  1  4,0 260
      3     3,0     1  1  3,0 130
  7     1     1,5     3  1  4,5 390
      2     2,0     2  1  4,0 260
      3     3,0     1  1  3,0 130
  8     1     1,5     3  1  4,5 390
      2     2,0     2  1  4,0 260
      3     3,0     1  1  3,0 130
  9     1     1,5     3  1  4,5 390
      2     2,0     2  1  4,0 260
      3     3,0     1  1  3,0 130
 10     1     1,5     3  1  4,5 390
      2     2,0     2  1  4,0 260
      3     3,0     1  1  3,0 130
 11     1    16,0     0  0  0  0

```



12	1	16,0	0	0	0	0
13	1	16,0	0	0	0	0
14	1	16,0	0	0	0	0
15	1	16,0	0	0	0	0
16	1	5,5	5	2	27,5	650
	2	6,5	4	2	26,0	520
	3	9,0	2	1	18,0	260
17	1	4,5	4	2	18,0	520
	2	5,0	3	1	15,0	390
	3	6,0	2	1	12,0	260
18	1	4,5	4	2	18,0	520
	2	5,0	3	1	15,0	390
	3	6,0	2	1	12,0	260
19	1	4,5	4	2	18,0	520
	2	5,0	3	1	15,0	390
	3	6,0	2	1	12,0	260
20	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
21	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
22	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
23	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
24	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
25	1	0	0	0	0	0

\*\*\*\*\*  
 RESOURCEAVAILABILITIES:  
 R 1 R 2 N 1 N 2  
 8 3 140 5000  
 \*\*\*\*\*

Tabela 34 - Instância Norte 4

```

jobs (incl. supersource/sink ): 18
RESOURCES
- renewable           : 2 R
- nonrenewable       : 2 N
- doubly constrained  : 0 D
*****
PRECEDENCE RELATIONS:
jobnr.  #modes #successors  successors
  1      1      2           2      3
  2      3      6           11     4      5      6      7      8
  3      3      6           12     4      5      6      7      8
  4      3      1           13
  5      3      1           9
  6      3      1           15
  7      3      1           16
  8      3      1           10
  9      1      1           14
 10     1      1           17
 11     3      5           13     14     15     16     17
 12     3      5           13     14     15     16     17
 13     3      1           18
 14     3      1           18
 15     3      1           18
 16     3      1           18
 17     3      1           18
 18     1      0
*****
REQUESTS/DURATIONS:
jobnr. mode duration  R 1  R 2  N 1  N 2
-----
  1      1      0      0  0  0  0
  2      1      2,0    4  2  8,0  520
        2      2,5    3  1  7,5  390
        3      3,5    2  1  7,0  260
  3      1      2,0    4  2  8,0  520
  
```

	2	2,5	3	1	7,5	390
	3	3,5	2	1	7,0	260
4	1	1,5	3	1	4,5	390
	2	2,0	2	1	4,0	260
	3	3,0	1	1	3,0	130
5	1	1,5	3	1	4,5	390
	2	2,0	2	1	4,0	260
	3	3,0	1	1	3,0	130
6	1	1,5	3	1	4,5	390
	2	2,0	2	1	4,0	260
	3	3,0	1	1	3,0	130
7	1	1,5	3	1	4,5	390
	2	2,0	2	1	4,0	260
	3	3,0	1	1	3,0	130
8	1	1,5	3	1	4,5	390
	2	2,0	2	1	4,0	260
	3	3,0	1	1	3,0	130
9	1	16,0	0	0	0	0
10	1	16,0	0	0	0	0
11	1	4,5	4	2	18,0	520
	2	5,0	3	1	15,0	390
	3	6,0	2	1	12,0	260
12	1	4,5	4	2	18,0	520
	2	5,0	3	1	15,0	390
	3	6,0	2	1	12,0	260
13	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
14	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
15	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
16	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
17	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
18	1	0	0	0	0	0

\*\*\*\*\*

RESOURCEAVAILABILITIES:

R 1	R 2	N 1	N 2
8	3	85	3000

\*\*\*\*\*

**Tabela 35 - Instância Norte 5**

```

jobs (incl. supersource/sink ): 43
RESOURCES
- renewable           : 2  R
- nonrenewable       : 2  N
- doubly constrained : 0  D
*****
PRECEDENCE RELATIONS:
jobnr.  #modes  #successors  successors
1        1        8           2 3 4 5 6 7 8 9
2        3        7           25 11 12 13 14 15 16
3        3        7           27 11 12 13 14 15 16
4        3        7           28 11 12 13 14 15 16
5        3        7           10 11 12 13 14 15 16
6        3        7           33 11 12 13 14 15 16
7        3        7           35 11 12 13 14 15 16
8        3        7           39 11 12 13 14 15 16
9        3        7           42 11 12 13 14 15 16
10       1        1           32
11       3        5           26 17 18 19 20
12       3        5           21 17 18 19 20
13       3        5           30 17 18 19 20
14       3        5           31 17 18 19 20
15       3        5           34 17 18 19 20
16       3        5           22 17 18 19 20
17       3        1           23
18       3        1           37
19       3        1           38
    
```



	2	2,0	2	1	4,0	260
	3	3,0	1	1	3,0	130
19	1	1,5	3	1	4,5	390
	2	2,0	2	1	4,0	260
	3	3,0	1	1	3,0	130
20	1	1,5	3	1	4,5	390
	2	2,0	2	1	4,0	260
	3	3,0	1	1	3,0	130
21	1	160	0	0	0	0
22	1	16,0	0	0	0	0
23	1	16,0	0	0	0	0
24	1	16,0	0	0	0	0
25	1	5,5	5	2	27,5	650
	2	6,5	4	2	26,0	520
	3	9,0	2	1	18,0	260
26	1	4,5	4	2	18,0	520
	2	5,0	3	1	15,0	390
	3	6,0	2	1	12,0	260
27	1	5,5	5	2	27,5	650
	2	6,5	4	2	26,0	520
	3	9,0	2	1	18,0	260
28	1	5,5	5	2	27,5	650
	2	6,5	4	2	26,0	520
	3	9,0	2	1	18,0	260
29	1	4,5	4	2	18,0	520
	2	5,0	3	1	15,0	390
	3	6,0	2	1	12,0	260
30	1	4,5	4	2	18,0	520
	2	5,0	3	1	15,0	390
	3	6,0	2	1	12,0	260
31	1	4,5	4	2	18,0	520
	2	5,0	3	1	15,0	390
	3	6,0	2	1	12,0	260
32	1	5,5	5	2	27,5	650
	2	6,5	4	2	26,0	520
	3	9,0	2	1	18,0	260
33	1	5,5	5	2	27,5	650
	2	6,5	4	2	26,0	520
	3	9,0	2	1	18,0	260
34	1	4,5	4	2	18,0	520
	2	5,0	3	1	15,0	390
	3	6,0	2	1	12,0	260
35	1	5,5	5	2	27,5	650
	2	6,5	4	2	26,0	520
	3	9,0	2	1	18,0	260
36	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
37	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
38	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
39	1	5,5	5	2	27,5	650
	2	6,5	4	2	26,0	520
	3	9,0	2	1	18,0	260
40	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
41	1	2,5	4	2	10,0	600
	2	3,0	3	1	9,0	300
	3	3,5	2	1	7,0	300
42	1	5,5	5	2	27,5	650
	2	6,5	4	2	26,0	520
	3	9,0	2	1	18,0	260
43	1	0	0	0	0	0
*****						
RESOURCEAVAILABILITIES:						
R 1 R 2 N 1 N 2						
8 3 450 14000						
*****						

Tabela 36 - Instância Centro 1

```

jobs (incl. supersource/sink ): 14
RESOURCES
- renewable           : 2  R
- nonrenewable       : 2  N
- doubly constrained  : 0  D
*****
PRECEDENCE RELATIONS:
jobnr.   #modes #successors  successors
  1         1         2           2      3
  2         3         2           8      4
  3         3         2           9      4
  4         3         4          10     5      6      7
  5         3         1          11
  6         3         1          12
  7         3         1          13
  8         3         1          10
  9         3         1          10
 10        3         3          11     12     13
 11        3         1          14
 12        3         1          14
 13        3         1          14
 14        1         0
*****
REQUESTS/DURATIONS:
jobnr. mode duration  R 1  R 2  N 1  N 2
-----
  1         1         0         0  0  0  0
  2         1         2,5       5  2 12,5 650
         2         3,0       4  2 12,0 520
         3         4,0       2  1  8,0 260
  3         1         2,5       5  2 12,5 650
         2         3,0       4  2 12,0 520
         3         4,0       2  1  8,0 260
  4         1         2,0       4  2  8,0 520
         2         2,5       3  1  7,5 390
         3         3,5       2  1  7,0 260
  5         1         1,5       3  1  4,5 390
         2         2,0       2  1  4,0 260
         3         3,0       1  1  3,0 130
  6         1         1,5       3  1  4,5 390
         2         2,0       2  1  4,0 260
         3         3,0       1  1  3,0 130
  7         1         1,5       3  1  4,5 390
         2         2,0       2  1  4,0 260
         3         3,0       1  1  3,0 130
  8         1         5,5       5  2 27,5 650
         2         6,5       4  2 26,0 520
         3         9,0       2  1 18,0 260
  9         1         5,5       5  2 27,5 650
         2         6,5       4  2 26,0 520
         3         9,0       2  1 18,0 260
 10         1         4,5       4  2 18,0 520
         2         5,0       3  1 15,0 390
         3         6,0       2  1 12,0 260
 11         1         3,0       3  1  9,0 390
         2         4,0       2  1  8,0 260
         3         6,0       1  1  6,0 130
 12         1         3,0       3  1  9,0 390
         2         4,0       2  1  8,0 260
         3         6,0       1  1  6,0 130
 13         1         3,0       3  1  9,0 390
         2         4,0       2  1  8,0 260
         3         6,0       1  1  6,0 130
 14         1         0         0  0  0  0
*****
RESOURCEAVAILABILITIES:
R 1  R 2  N 1  N 2

```

```

8 3 120 3800
*****

```

Tabela 37 - Instância Centro 2

```

jobs (incl. supersource/sink ): 19
RESOURCES
- renewable           : 2  R
- nonrenewable       : 2  N
- doubly constrained  : 0  D
*****
PRECEDENCE RELATIONS:
jobnr.  #modes #successors  successors
 1      1      2          2      3
 2      3      3          11     4      5
 3      3      3          12     4      5
 4      3      5          13     6      7      8      9
 5      3      5          14     6      7      8      9
 6      3      1          15
 7      3      1          16
 8      3      1          10
 9      3      1          18
10     1      1          17
11     3      2          13     14
12     3      2          13     14
13     3      4          15     16     17     18
14     3      4          15     16     17     18
15     3      1          19
16     3      1          19
17     3      1          19
18     3      1          19
19     1      0
*****
REQUESTS/DURATIONS:
jobnr. mode duration  R 1  R 2  N 1  N 2
-----
 1      1      0      0  0  0  0
 2      1      2,5    5  2 12,5 650
      2      3,0    4  2 12,0 520
      3      4,0    2  1  8,0 260
 3      1      2,5    5  2 12,5 650
      2      3,0    4  2 12,0 520
      3      4,0    2  1  8,0 260
 4      1      2,0    4  2  8,0 520
      2      2,5    3  1  7,5 390
      3      3,5    2  1  7,0 260
 5      1      2,0    4  2  8,0 520
      2      2,5    3  1  7,5 390
      3      3,5    2  1  7,0 260
 6      1      1,5    3  1  4,5 390
      2      2,0    2  1  4,0 260
      3      3,0    1  1  3,0 130
 7      1      1,5    3  1  4,5 390
      2      2,0    2  1  4,0 260
      3      3,0    1  1  3,0 130
 8      1      1,5    3  1  4,5 390
      2      2,0    2  1  4,0 260
      3      3,0    1  1  3,0 130
 9      1      1,5    3  1  4,5 390
      2      2,0    2  1  4,0 260
      3      3,0    1  1  3,0 130
10     1      16,0   0  0  0  0
11     1      5,5    5  2 27,5 650
      2      6,5    4  2 26,0 520
      3      9,0    2  1 18,0 260
12     1      5,5    5  2 27,5 650
      2      6,5    4  2 26,0 520
      3      9,0    2  1 18,0 260
13     1      4,5    4  2 18,0 520
      2      5,0    3  1 15,0 390
      3      6,0    2  1 12,0 260
14     1      4,5    4  2 18,0 520
      2      5,0    3  1 15,0 390

```

	3	6,0	2	1	12,0	260
15	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
16	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
17	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
18	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
19	1	0	0	0	0	0
*****						
RESOURCEAVAILABILITIES:						
R 1 R 2 N 1 N 2						
8 3 150 5000						
*****						

Tabela 38 - Instância Centro 3

```

jobs (incl. supersource/sink ): 18
RESOURCES
- renewable           : 2 R
- nonrenewable       : 2 N
- doubly constrained : 0 D
*****
PRECEDENCE RELATIONS:
jobnr.  #modes #successors  successors
1      1      2          2      3
2      3      4          10     4      5      6
3      3      4          11     4      5      6
4      3      4          12     7      8      9
5      3      4          13     7      8      9
6      3      4          14     7      8      9
7      3      1          15
8      3      1          16
9      3      1          17
10     3      3          12     13     14
11     3      3          12     13     14
12     3      3          15     16     17
13     3      3          15     15     17
14     3      3          15     16     17
15     3      1          18
16     3      1          18
17     3      1          18
18     1      0
*****
REQUESTS/DURATIONS:
jobnr. mode duration R 1 R 2 N 1 N 2
-----
1      1      0      0      0      0      0
2      1      2,5    5      2      12,5  650
      2      3,0    4      2      12,0  520
      3      4,0    2      1      8,0   260
3      1      2,5    5      2      12,5  650
      2      3,0    4      2      12,0  520
      3      4,0    2      1      8,0   260
4      1      2,0    4      2      8,0   520
      2      2,5    3      1      7,5   390
      3      3,5    2      1      7,0   260
5      1      2,0    4      2      8,0   520
      2      2,5    3      1      7,5   390
      3      3,5    2      1      7,0   260
6      1      2,0    4      2      8,0   520
      2      2,5    3      1      7,5   390
      3      3,5    2      1      7,0   260
7      1      1,5    3      1      4,5   390
      2      2,0    2      1      4,0   260
      3      3,0    1      1      3,0   130
8      1      1,5    3      1      4,5   390
      2      2,0    2      1      4,0   260
      3      3,0    1      1      3,0   130
9      1      1,5    3      1      4,5   390
      2      2,0    2      1      4,0   260

```

	3	3,0	1	1	3,0	130
10	1	5,5	5	2	27,5	650
	2	6,5	4	2	26,0	520
	3	9,0	2	1	18,0	260
11	1	5,5	5	2	27,5	650
	2	6,5	4	2	26,0	520
	3	9,0	2	1	18,0	260
12	1	4,5	4	2	18,0	520
	2	5,0	3	1	15,0	390
	3	6,0	2	1	12,0	260
13	1	4,5	4	2	18,0	520
	2	5,0	3	1	15,0	390
	3	6,0	2	1	12,0	260
14	1	4,5	4	2	18,0	520
	2	5,0	3	1	15,0	390
	3	6,0	2	1	12,0	260
15	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
16	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
17	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
18	1	0	0	0	0	0
*****						
RESOURCEAVAILABILITIES:						
R 1 R 2 N 1 N 2						
8 3 160 5000						
*****						

Tabela 39 - Instância Centro 4

```

jobs (incl. supersource/sink ): 26
RESOURCES
- renewable           : 2 R
- nonrenewable       : 2 N
- doubly constrained : 0 D
*****
PRECEDENCE RELATIONS:
jobnr.  #modes  #successors  successors
1       1      1             2
2       3      4             16  3    4    5
3       3      7             17  6    7    8    9    10  11
4       3      7             18  6    7    8    9    10  11
5       3      7             19  6    7    8    9    10  11
6       3      1             12
7       3      1             13
8       3      1             14
9       3      1             23
10      3      1             15
11      3      1             25
12      1      1             20
13      1      1             21
14      1      1             22
15      1      1             24
16      3      3             17  18  19
17      3      6             20  21  22  23  24  25
18      3      6             20  21  22  23  24  25
19      3      6             20  21  22  23  24  25
20      3      1             26
21      3      1             26
22      3      1             26
23      3      1             26
24      3      1             26
25      3      1             26
26      1      0
*****
REQUESTS/DURATIONS:
jobnr. mode duration R 1 R 2 N 1 N 2
-----

```



1	1	0	0	0	0	0
2	1	2,5	5	2	12,5	650
	2	3,0	4	2	12,0	520
	3	4,0	2	1	8,0	260
3	1	2,0	4	2	8,0	520
	2	2,5	3	1	7,5	390
	3	3,5	2	1	7,0	260
4	1	2,0	4	2	8,0	520
	2	2,5	3	1	7,5	390
	3	3,5	2	1	7,0	260
5	1	2,0	4	2	8,0	520
	2	2,5	3	1	7,5	390
	3	3,5	2	1	7,0	260
6	1	1,5	3	1	4,5	390
	2	2,0	2	1	4,0	260
	3	3,0	1	1	3,0	130
7	1	1,5	3	1	4,5	390
	2	2,0	2	1	4,0	260
	3	3,0	1	1	3,0	130
8	1	1,5	3	1	4,5	390
	2	2,0	2	1	4,0	260
	3	3,0	1	1	3,0	130
9	1	1,5	3	1	4,5	390
	2	2,0	2	1	4,0	260
	3	3,0	1	1	3,0	130
10	1	1,5	3	1	4,5	390
	2	2,0	2	1	4,0	260
	3	3,0	1	1	3,0	130
11	1	1,5	3	1	4,5	390
	2	2,0	2	1	4,0	260
	3	3,0	1	1	3,0	130
12	1	16,0	0	0	0	0
13	1	16,0	0	0	0	0
14	1	16,0	0	0	0	0
15	1	16,0	0	0	0	0
16	1	5,5	5	2	27,5	650
	2	6,5	4	2	26,0	520
	3	9,0	2	1	18,0	260
17	1	4,5	4	2	18,0	520
	2	5,0	3	1	15,0	390
	3	6,0	2	1	12,0	260
18	1	4,5	4	2	18,0	520
	2	5,0	3	1	15,0	390
	3	6,0	2	1	12,0	260
19	1	4,5	4	2	18,0	520
	2	5,0	3	1	15,0	390
	3	6,0	2	1	12,0	260
20	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
21	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
22	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
23	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
24	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
25	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
26	1	0	0	0	0	0
*****						
RESOURCEAVAILABILITIES:						
R 1 R 2 N 1 N 2						
8 3 170 5000						
*****						

Tabela 40 - - Instância Centro 5

```

jobs (incl. supersource/sink ): 33
RESOURCES
- renewable           : 2  R
- nonrenewable       : 2  N
- doubly constrained  : 0  D
*****
PRECEDENCE RELATIONS:
jobnr.   #modes #successors  successors
1         1         2           2 3
2         3         11          21 4 5 6 7 8 9 10
   11      12      13
3         3         11          22 4 5 6 7 8 9 10
   11      12      13
4         3         1           23
5         3         1           15
6         3         1           25
7         3         1           16
8         3         1           14
9         3         1           28
10        3         1           17
11        3         1           18
12        3         1           19
13        3         1           20
14        1         1           27
15        1         1           24
16        1         1           26
17        1         1           29
18        1         1           30
19        1         1           31
20        1         1           32
21        3         10          23 14 25 26 27 28 29 30
   31      32
22        3         10          23 14 25 26 27 28 29 30
   31      32
23        3         1           33
24        3         1           33
25        3         1           33
26        3         1           33
27        3         1           33
28        3         1           33
29        3         1           33
30        3         1           33
31        3         1           33
32        3         1           33
33        1         0
*****
REQUESTS/DURATIONS:
jobnr. mode duration  R 1  R 2  N 1  N 2
-----
1         1         0         0 0 0 0
2         1         2,0        4 2 8,0 520
   2         2,5        3 1 7,5 390
   3         3,5        2 1 7,0 260
3         1         2,0        4 2 8,0 520
   2         2,5        3 1 7,5 390
   3         3,5        2 1 7,0 260
4         1         1,5        3 1 4,5 390
   2         2,0        2 1 4,0 260
   3         3,0        1 1 3,0 130
5         1         1,5        3 1 4,5 390
   2         2,0        2 1 4,0 260
   3         3,0        1 1 3,0 130
6         1         1,5        3 1 4,5 390
   2         2,0        2 1 4,0 260
   3         3,0        1 1 3,0 130
7         1         1,5        3 1 4,5 390

```

	2	2,0	2	1	4,0	260
	3	3,0	1	1	3,0	130
8	1	1,5	3	1	4,5	390
	2	2,0	2	1	4,0	260
	3	3,0	1	1	3,0	130
9	1	1,5	3	1	4,5	390
	2	2,0	2	1	4,0	260
	3	3,0	1	1	3,0	130
10	1	1,5	3	1	4,5	390
	2	2,0	2	1	4,0	260
	3	3,0	1	1	3,0	130
11	1	1,5	3	1	4,5	390
	2	2,0	2	1	4,0	260
	3	3,0	1	1	3,0	130
12	1	1,5	3	1	4,5	390
	2	2,0	2	1	4,0	260
	3	3,0	1	1	3,0	130
13	1	1,5	3	1	4,5	390
	2	2,0	2	1	4,0	260
	3	3,0	1	1	3,0	130
14	1	16,0	0	0	0	0
15	1	16,0	0	0	0	0
16	1	16,0	0	0	0	0
17	1	16,0	0	0	0	0
18	1	16,0	0	0	0	0
19	1	16,0	0	0	0	0
20	1	16,0	0	0	0	0
21	1	4,5	4	2	18,0	520
	2	5,0	3	1	15,0	390
	3	6,0	2	1	12,0	260
22	1	4,5	4	2	18,0	520
	2	5,0	3	1	15,0	390
	3	6,0	2	1	12,0	260
23	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
24	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
25	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
26	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
27	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
28	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
29	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
30	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
31	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
32	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
33	1	0	0	0	0	0
*****						
RESOURCEAVAILABILITIES:						
R 1 R 2 N 1 N 2						
8 3 140 7000						
*****						

Tabela 41 - Instância Sul 1

```

jobs (incl. supersource/sink ): 28
RESOURCES
- renewable           : 2   R
- nonrenewable       : 2   N
- doubly constrained : 0   D
*****
PRECEDENCE RELATIONS:
jobnr.   #modes  #successors  successors
1         1         1           2
2         3         4           17    3    4    5
3         3         8           18    6    7    8    9    10    11    12
4         3         8           13    6    7    8    9    10    11    12
5         3         8           20    6    7    8    9    10    11    12
6         3         1           14
7         3         1           22
8         3         1           15
9         3         1           24
10        3         1           25
11        3         1           16
12        3         1           27
13        1         1           19
14        1         1           21
15        1         1           23
16        1         1           26
17        3         3           18    19    20
18        3         7           21    22    23    24    25    26    27
19        3         7           21    22    23    24    25    26    27
20        3         7           21    22    23    24    25    26    27
21        3         1           28
22        3         1           28
23        3         1           28
24        3         1           28
25        3         1           28
26        3         1           28
27        3         1           28
28        1         0
*****
REQUESTS/DURATIONS:
jobnr. mode duration  R 1  R 2  N 1  N 2
-----
1      1      0      0  0  0  0
2      1      2,5    5  2  12,5  650
      2      3,0    4  2  12,0  520
      3      4,0    2  1   8,0  260
3      1      2,0    4  2   8,0  520
      2      2,5    3  1   7,5  390
      3      3,5    2  1   7,0  260
4      1      2,0    4  2   8,0  520
      2      2,5    3  1   7,5  390
      3      3,5    2  1   7,0  260
5      1      2,0    4  2   8,0  520
      2      2,5    3  1   7,5  390
      3      3,5    2  1   7,0  260
6      1      1,5    3  1   4,5  390
      2      2,0    2  1   4,0  260
      3      3,0    1  1   3,0  130
7      1      1,5    3  1   4,5  390
      2      2,0    2  1   4,0  260
      3      3,0    1  1   3,0  130
8      1      1,5    3  1   4,5  390
      2      2,0    2  1   4,0  260
      3      3,0    1  1   3,0  130
9      1      1,5    3  1   4,5  390
      2      2,0    2  1   4,0  260
      3      3,0    1  1   3,0  130
10     1      1,5    3  1   4,5  390
      2      2,0    2  1   4,0  260
      3      3,0    1  1   3,0  130
11     1      1,5    3  1   4,5  390
      2      2,0    2  1   4,0  260

```

12	3	3,0	1	1	3,0	130
	1	1,5	3	1	4,5	390
	2	2,0	2	1	4,0	260
	3	3,0	1	1	3,0	130
13	1	16,0	0	0	0	0
14	1	16,0	0	0	0	0
15	1	16,0	0	0	0	0
16	1	16,0	0	0	0	0
17	1	5,5	5	2	27,5	650
	2	6,5	4	2	26,0	520
	3	9,0	2	1	18,0	260
18	1	4,5	4	2	18,0	520
	2	5,0	3	1	15,0	390
	3	6,0	2	1	12,0	260
19	1	4,5	4	2	18,0	520
	2	5,0	3	1	15,0	390
	3	6,0	2	1	12,0	260
20	1	4,5	4	2	18,0	520
	2	5,0	3	1	15,0	390
	3	6,0	2	1	12,0	260
21	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
22	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
23	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
24	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
25	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
26	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
27	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
28	1	0	0	0	0	0

\*\*\*\*\*

RESOURCEAVAILABILITIES:

R 1	R 2	N 1	N 2
8	3	160	6000

Tabela 42 - Instância Sul 2

```

jobs (incl. supersource/sink ): 30
RESOURCES
- renewable           : 2  R
- nonrenewable       : 2  N
- doubly constrained : 0  D
*****
PRECEDENCE RELATIONS:
jobnr.  #modes #successors  successors
  1      1      3           2      3      4
  2      3      2           14     5
  3      3      2           18     5
  4      3      2           15     5
  5      3      8           20     7      8      9      10      11      12      13
  6      3      1           21
  7      3      1           22
  8      3      1           23
  9      3      1           16
 10      3      1           26
 11      3      1           27
 12      3      1           28
 13      3      1           29
 14      1      1           17
 15      1      1           19
 16      1      1           24
 17      3      1           20
 18      3      1           20
    
```

19	3	1	20									
20	3	9	21	22	23	24	25	26	27	28		
	29											
21	3	1	30									
22	3	1	30									
23	3	1	30									
24	3	1	30									
25	3	1	30									
26	3	1	30									
27	3	1	30									
28	3	1	30									
29	3	1	30									
30	1	0										

\*\*\*\*\*

REQUESTS/DURATIONS:

jobnr.	mode	duration	R 1	R 2	N 1	N 2
1	1	0	0	0	0	0
2	1	2,5	5	2	12,5	650
	2	3,0	4	2	12,0	520
	3	4,0	2	1	8,0	260
3	1	2,5	5	2	12,5	650
	2	3,0	4	2	12,0	520
	3	4,0	2	1	8,0	260
4	1	2,5	5	2	12,5	650
	2	3,0	4	2	12,0	520
	3	4,0	2	1	8,0	260
5	1	2,0	4	2	8,0	520
	2	2,5	3	1	7,5	390
	3	3,5	2	1	7,0	260
6	1	1,5	3	1	4,5	390
	2	2,0	2	1	4,0	260
	3	3,0	1	1	3,0	130
7	1	1,5	3	1	4,5	390
	2	2,0	2	1	4,0	260
	3	3,0	1	1	3,0	130
8	1	1,5	3	1	4,5	390
	2	2,0	2	1	4,0	260
	3	3,0	1	1	3,0	130
9	1	1,5	3	1	4,5	390
	2	2,0	2	1	4,0	260
	3	3,0	1	1	3,0	130
10	1	1,5	3	1	4,5	390
	2	2,0	2	1	4,0	260
	3	3,0	1	1	3,0	130
11	1	1,5	3	1	4,5	390
	2	2,0	2	1	4,0	260
	3	3,0	1	1	3,0	130
12	1	1,5	3	1	4,5	390
	2	2,0	2	1	4,0	260
	3	3,0	1	1	3,0	130
13	1	1,5	3	1	4,5	390
	2	2,0	2	1	4,0	260
	3	3,0	1	1	3,0	130
14	1	16,0	0	0	0	0
15	1	16,0	0	0	0	0
16	1	16,0	0	0	0	0
17	1	5,5	5	2	27,5	650
	2	6,5	4	2	26,0	520
	3	9,0	2	1	18,0	260
18	1	5,5	5	2	27,5	650
	2	6,5	4	2	26,0	520
	3	9,0	2	1	18,0	260
19	1	5,5	5	2	27,5	650
	2	6,5	4	2	26,0	520
	3	9,0	2	1	18,0	260
20	1	4,5	4	2	18,0	520
	2	5,0	3	1	15,0	390
	3	6,0	2	1	12,0	260
21	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
22	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
23	1	3,0	3	1	9,0	390

	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
24	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
25	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
26	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
27	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
28	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
29	1	3,0	3	1	9,0	390
	2	4,0	2	1	8,0	260
	3	6,0	1	1	6,0	130
30	1	0	0	0	0	0
*****						
RESOURCEAVAILABILITIES:						
	R 1	R 2	N 1	N 2		
	8	3	200	7500		
*****						

**Tabela 43 - Instância Sul3**

# 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](#)