



**Universidade Estadual de Campinas**  
**Instituto de Matemática, Estatística e**  
**Computação Científica**  
**Departamento de Matemática Aplicada**

**Esquematização de médicos em salas  
de emergências: Uma abordagem  
Híbrida**

Dissertação apresentada ao Instituto de Matemática  
Estatística e Computação Científica da Universidade Estadual  
de Campinas, como parte dos requisitos exigidos para a  
obtenção do título de

Mestre em Matemática Aplicada e Computacional

por

**José Eduardo Pécora Junior**

sob orientação do Professor Dr.

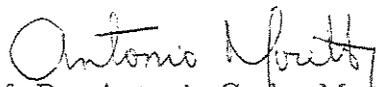
**Antonio Carlos Moretti**

**UNICAMP**  
**BIBLIOTECA CENTRAL**  
**SEÇÃO CIRCULANTE**

# Esquematização de médicos em salas de emergências: Uma abordagem Híbrida

Este exemplar corresponde à redação final da dissertação devidamente corrigida e defendida por José Eduardo Pécora Junior e aprovada pela comissão julgadora.

Campinas, 25 de março de 2002



Prof. Dr. Antonio Carlos Moretti

Banca Examinadora:

1. Prof.<sup>a</sup> Dra. Debora Pretti Ronconi
2. Prof.<sup>a</sup> Dra. Valéria de Podesta Gomes
3. Prof. Dr. Clóvis Perin Filho

Dissertação apresentada ao Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica, UNICAMP, como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Matemática Aplicada e Computacional.

UNIDADE BE  
Nº CHAMADA T/UNICAMP  
P339e  
V \_\_\_\_\_ EX \_\_\_\_\_  
TOMBO BCI 49960  
PROC 16-837100  
C \_\_\_\_\_ OX \_\_\_\_\_  
PREÇO R\$ 11,00  
DATA \_\_\_\_\_  
Nº CPD \_\_\_\_\_

CMO0170446-B

BIB ID 247025

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA DO  
IMECC DA UNICAMP

~~P338e~~  
P339e Pécora Junior, José Eduardo  
Esquematização de médicos em salas de emergências:  
uma abordagem híbrida/José Eduardo Pécora Júnior.-  
Campinas, [S.P. :s.n.], 2002.

Orientador : Antonio Carlos Moretti.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de  
Campinas, Instituto de Matemática, Estatística e Com-  
putação Científica.

1. Pesquisa operacional. 2. Algoritmos genéticos. 3.  
Otimização matemática. 4. Conjuntos nebulosos. I.  
Moretti, Antonio Carlos. II. Universidade Estadual de  
Campinas. Instituto de Matemática, Estatística e Com-  
putação Científica. III. Título.

Dissertação de Mestrado defendida em 25 de março de 2002 e aprovada pela Banca Examinadora composta pelos Profs. Drs.

*Antonio Moretti*

---

Prof (a). Dr (a). ANTONIO CARLOS MORETTI

*Val*

---

Prof (a). Dr (a). VALÉRIA DE PODESTÁ GOMES

*Débora Pretti Ronconi*

---

Prof (a). Dr (a). DÉBORA PRETTI RONCONI

857182000

“Ao meu amigo Claudinei ‘Nego’ Zava.”

“Agradeço a todos que me ajudaram para a finalização desta tese, principalmente a Deus, pois sem ele nada seria possível, aos meus pais pelo grande apoio, e pelas palavras certas nos momentos mais complicados, à Caroline pela sua compreensão e apoio. Ao meu amigo e orientador Antonio Carlos Moretti, principalmente pela sua amizade, mas sem esquecer da sua paciência, dos conselhos, das inúmeras correções e vírgulas. À Professora Sophie LaPierre pelo seu inestimável auxílio, e finalmente à Fatiminha, Cidinha e Ednaldo por me livrarem do terror dos formulários sem assinatura, das datas e nomes errados.”

“Com muitos cálculos pode-se vencer, com poucos não o é possível, e sem nenhum, as probabilidades deixam de existir! Com isto quero dizer que, examinando-se a situação, os resultados surgirão com clareza.”

Sun Tzu - A Arte da Guerra - 500 a.C.

# Resumo

Alocação de pessoal tem sido um tópico considerado pela pesquisa operacional há muito tempo. Especificamente, a alocação de médicos depara com uma nova fronteira, pois, é significativamente diferente de alocação de enfermeiras, um tópico mais comum na literatura, e existem muitas peculiaridades inerentes ao problema.

Neste trabalho estudamos a alocação de médicos em salas de emergência, as quais devem ficar abertas 24 horas por dia e 7 dias por semana.

Um método que combina duas meta-heurísticas: Algoritmos Genéticos e Busca Tabu, foi desenvolvido para alocar as diferentes opções e restrições do problema. As duas meta-heurísticas trabalham em conjunto, obtendo-se um método de busca global, em uma abordagem acíclica, que foi especialmente escolhida para poder suportar as diferentes requisições pessoais de cada médico.

# Abstract

Staff scheduling has been in the operational research for much time. Specifically, the physicians scheduling comes across with a new frontier, therefore, is significantly different of nurse scheduling, a common topic in literature. In physicians scheduling there are many peculiarities inherent to the problem.

In this work we studied the physicians scheduling in emergency rooms, which must be open for 24 hours per day and 7 days per week.

A method which combines two meta-heuristics: Genetic Algorithms and Tabu Search, were developed to match the personal options and the hospital demand, the main goal in this problem. The two meta-heuristics work together in a global search method, with an acyclic approach, this method was especially developed to match the personal preferences for each physician.

# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Descrição do Problema . . . . .	1
1.2	Definições . . . . .	2
1.3	A Abordagem híbrida . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Revisão Bibliográfica</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Modelo matemático</b>	<b>8</b>
3.1	Variáveis . . . . .	8
3.2	Restrições Básicas . . . . .	9
3.2.1	Restrições de demanda hospitalar . . . . .	9
3.2.2	Dias de descanso . . . . .	10
3.3	Restrições de Contrato . . . . .	10
3.3.1	Diferença entre os turnos trabalhados e turnos no contrato . . . . .	11
3.3.2	Mais dias livres do que o previsto . . . . .	11
3.3.3	Diferença entre turnos trabalhados e pedidos . . . . .	11
3.3.4	Mais do que quatro dias trabalhados por semana . . . . .	12
3.3.5	Sabbath . . . . .	12
3.4	Restrições de final de semana . . . . .	12
3.5	Turnos Especiais . . . . .	14
3.5.1	Menos turnos consecutivos do que o exigido . . . . .	14
3.5.2	Distribuição dos turnos da noite . . . . .	14
3.6	Grupos . . . . .	15
3.6.1	Dias de trabalho isolados . . . . .	15
3.6.2	Dias de folga isolados . . . . .	15
3.6.3	Turno noturno isolado . . . . .	15
3.6.4	Grupos de tamanho diferente do que o especificado . . . . .	16

3.7	Ciclo circadiano . . . . .	16
3.8	Função Objetivo . . . . .	17
3.9	Dados de entrada . . . . .	17
3.9.1	Tabela de turnos . . . . .	18
3.9.2	Tabela de opções dos médicos . . . . .	19
3.9.3	Tabela de férias dos médicos . . . . .	20
3.9.4	Solução Inicial . . . . .	22
3.9.5	Matriz de características . . . . .	24
<b>4</b>	<b>Busca Tabu</b>	<b>27</b>
4.1	Introdução . . . . .	27
4.2	A Lista Tabu . . . . .	27
4.3	Vizinhanças . . . . .	28
4.3.1	Vizinhança 1 . . . . .	28
4.3.2	Vizinhança 2 . . . . .	29
<b>5</b>	<b>Algoritmos Genéticos</b>	<b>31</b>
5.1	Introdução . . . . .	31
5.2	Parâmetros . . . . .	32
5.3	O processo de Crossover . . . . .	32
5.4	Um pequeno exemplo de alocação . . . . .	33
5.5	Algoritmo de Busca Tabu . . . . .	37
5.6	A nova geração . . . . .	37
5.7	O conjunto <i>Best</i> . . . . .	37
5.8	A solução inicial . . . . .	38
<b>6</b>	<b>Uma decisão baseada em regras</b>	<b>39</b>
6.1	Introdução . . . . .	39
6.2	Conjunto Nebuloso - “Fuzzy” . . . . .	39
6.3	Modelo Matemático Nebuloso . . . . .	40
6.4	Decisão baseada em regras . . . . .	41
6.4.1	Determinação dos $a_i$ a serem alterados . . . . .	41
6.4.2	Determinação do valor de alteração . . . . .	42
<b>7</b>	<b>Experiências Computacionais</b>	<b>46</b>
7.1	Introdução . . . . .	46
7.2	Testes Iniciais . . . . .	46
7.2.1	Classe de teste 1 . . . . .	47

7.2.2	Classe de teste 2 . . . . .	50
7.2.3	Classe de teste 3 . . . . .	53
7.2.4	Classe de teste 4 . . . . .	55
7.3	Problema do Hospital Judeu de Montreal . . . . .	59
7.4	Problema derivado do Hospital Judeu . . . . .	63
7.5	Decisão baseadas em regras . . . . .	67
7.5.1	Introdução . . . . .	67
7.5.2	Resultados . . . . .	68
7.6	Conclusões . . . . .	68
<b>8</b>	<b>Uma aplicação: O HC da Unicamp</b>	<b>71</b>
8.1	Introdução . . . . .	71
8.2	Descrição do problema . . . . .	71
8.3	Resultados . . . . .	73
<b>9</b>	<b>Conclusões</b>	<b>76</b>

# Lista de Tabelas

3.1	Demanda do Hospital Judeu de Montreal . . . . .	10
3.2	Tabela de turnos do Hospital Judeu . . . . .	18
3.3	Opções de trabalho . . . . .	20
3.4	Férias e dias de folga . . . . .	21
3.5	Solução Inicial . . . . .	23
3.6	Descrição das características . . . . .	24
3.7	Características . . . . .	25
5.1	Horário 1 . . . . .	34
5.2	Horário 2 . . . . .	34
5.3	<i>Offspring</i> 1 . . . . .	34
5.4	<i>Offspring</i> 2 . . . . .	34
5.5	<i>Exemplo de Vizinhaça</i> . . . . .	35
7.1	Melhor solução . . . . .	48
7.2	Contrato (pedido/alocado) . . . . .	49
7.3	Score individual . . . . .	49
7.4	Melhor solução . . . . .	51
7.5	Contrato (pedido/alocado) . . . . .	52
7.6	Score individual . . . . .	52
7.7	Melhor solução . . . . .	54
7.8	Contrato (pedido/alocado) . . . . .	55
7.9	Score individual . . . . .	55
7.10	Melhor solução . . . . .	57
7.11	Contrato (pedido/alocado) . . . . .	58
7.12	Score individual . . . . .	58
7.13	Comparação entre os resultados . . . . .	68
8.1	Resultados - Turma A . . . . .	75

8.2	Resultados - Turma B	75
8.3	Resultados - Turma C	75

# Lista de Figuras

3.1	Tipos de restrições . . . . .	9
3.2	Tipos de Finais de Semana . . . . .	12
4.1	Vizinhança 1 . . . . .	28
4.2	Vizinhança 2 . . . . .	29
5.1	O processo de Crossover . . . . .	33
5.2	Fluxograma do Algoritmo Híbrido . . . . .	36
6.1	Intervalo das variáveis linguísticas de entrada . . . . .	42
6.2	Intervalo das variáveis linguísticas de saída . . . . .	43
6.3	Conjunção de Mamdani e processo de “defuzzyficação” . . . . .	44
7.1	Classe de teste 1 . . . . .	48
7.2	Classe de teste 2 . . . . .	50
7.3	Classe de teste 3 . . . . .	53
7.4	Classe de teste 4 . . . . .	56
7.5	Busca Tabu . . . . .	60
7.6	Algoritmo Genético . . . . .	61
7.7	Híbrido - AG + BT . . . . .	62
7.8	Comparação entre os métodos . . . . .	63
7.9	Busca Tabu . . . . .	64
7.10	Algoritmo Genético . . . . .	65
7.11	Híbrido . . . . .	66
7.12	Comparação entre os métodos . . . . .	67
7.13	Score da melhor solução por tempo (segundos) . . . . .	69

# Capítulo 1

## Introdução

Alocação de pessoal tem sido um tópico considerado pela pesquisa operacional há muito tempo. Especificamente, a alocação de médicos depara com uma nova fronteira, pois, é significantemente diferente de alocação de enfermeiras, um tópico mais comum na literatura, e existem muitas peculiaridades inerentes ao problema.

Neste trabalho estudamos a alocação de médicos em salas de emergência, as quais devem ficar abertas 24 horas por dia e 7 dias por semana.

Um método que combina duas meta-heurísticas: Algoritmos Genéticos e Busca Tabu, foi desenvolvido para alocar as diferentes opções e restrições do problema. As duas meta-heurísticas trabalham em conjunto, obtendo-se um método de busca global, em uma abordagem acíclica, que foi especialmente escolhida para poder suportar as diferentes requisições pessoais de cada médico.

### 1.1 Descrição do Problema

Salas de emergência são lugares estressantes, pois, ficam abertas 24 horas por dia e 7 dias por semana, além da grande responsabilidade atribuída aos médicos que nela trabalham, portanto, uma boa alocação dos médicos aos horários de trabalho, que seja baseada nas regras ergonômicas propostas por Knauth [7], pode diminuir o nível de stress tornando o trabalho menos desgastante.

Alocação de médicos é significantemente diferente de alocação de enfermeiras, pois, estas trabalham com regras fixas geralmente ditadas por um

sindicato, por exemplo, quando uma enfermeira está em férias o hospital é obrigado a contratar mais enfermeiras para suprir a falta desta. Isto já não acontece com os médicos, pois, quando um tira férias os outros cobrem a falta deste e isso geralmente acontece de um modo informal e não registrado.

Neste problema vamos considerar médicos com diferentes necessidades de trabalho, tais como preferências individuais, quantidade de turnos necessários no período considerado e férias. As preferências individuais podem ser das mais variadas possíveis, tais como: médicos judeus que não trabalham durante o Sabbath (sexta à noite e sábado durante o dia), médicos que preferem trabalhar todo um final de semana ao invés de somente um dia no final de semana. Para o Jewish Hospital de Montreal, veja Buzon [1], foi escolhida uma abordagem acíclica, pois, numa abordagem cíclica, é muito mais difícil de garantir as preferências individuais. Como este é um problema da classe NP-Completo, mesmo que a solução factível exista, ou seja, uma solução que faça todas as preferências individuais, talvez não sejamos capazes de encontrá-la, então procuramos satisfazer o melhor possível as regras ergonômicas descritas em Knauth [7] para alocação de turnos.

Os turnos da noite têm um maior impacto no desenvolvimento do problema. Buzon e LaPierre[1] descrevem a grande influência do trabalho noturno em uma alocação, isto porque esse tipo de turno faz uma grande mudança no ritmo circadiano <sup>1</sup>. Estudos demonstram que quando um médico trabalha vários turnos noturnos seguidos sem dias de descanso entre os turnos ele fica sujeito a mais erros e stress. Uma boa alocação tem que ser justa para todos, finais de semana e turnos da noite devem ser bem divididos entre todos os médicos. Nosso objetivo é encontrar uma solução que satisfaça integralmente as restrições da demanda hospitalar, restrições básicas, e satisfaça o melhor possível as outras restrições.

## 1.2 Definições

Existem alguns termos que serão utilizadas freqüentemente no texto, aqui se encontram as definições e uma breve explicação de cada uma delas.

---

<sup>1</sup>Ritmo biológico humano, é fundamental para a saúde e para a adaptação do homem ao seu meio. Regido pelo hipotálamo, controla algumas das atividades mais importantes do organismo, como o sono, o metabolismo da água, a temperatura corporal e até mesmo a função celular.

- **Turnos** - horários de trabalho, podendo ser noturnos, vespertinos, matutinos; podemos também considerar turnos especiais como finais de semana e feriados como no problema do Hospital das Clínicas da Universidade de Campinas. Como exemplo, veja a Tabela 3.2 onde se encontram os tipos de turnos utilizados pelo Hospital Judeu de Montreal (General Jewish Hospital).
- **Grupo** - é um conjunto de turnos de trabalho consecutivos. Um grupo pode ser unitário ou com muitos turnos. Note que um grupo não precisa ter exatamente os mesmos tipos de turnos, também podemos ter um grupo de dias de descanso.
- **Solução ou horário** - um conjunto de grupos é uma solução. Esta pode ser factível, e isto significa que respeita todas as restrições básicas, ou infactível, significando que alguma restrição básica foi violada. Nesta abordagem somente trabalharemos com soluções factíveis.
- **Função Objetivo** - é a função que descreve quão boa é a solução em respeito à satisfação pessoal dos médicos, quanto menor o valor da função objetivo melhor é a solução, portanto, temos um problema de minimização.
- **Score** - valor da função objetivo associado a uma solução.
- **Penalização** - quando uma restrição não é satisfeita acrescentamos uma "multa" na função objetivo, esta é a penalização.
- **Finais de semana** - alguns hospitais consideram a sexta à noite como parte do final de semana, neste trabalho consideraremos somente sábados e domingos como final de semana, para todos os tipos de turnos, manhã, tarde e noite.
- **Vizinhança** - é o espaço de busca que contém as possíveis soluções. Os vários tipos de vizinhanças serão melhor descritos na Seção 4.3.2.

### 1.3 A Abordagem híbrida

Para a resolução deste problema foi escolhida uma abordagem aonde são utilizadas duas das mais conhecidas meta-heurísticas: Algoritmos

Genéticos e Busca Tabu. A primeira, troca partes de duas soluções (A e B), fazendo uma analogia com a genética, é como se estivéssemos copiando uma parte do "DNA" da solução A para a solução B e vice-versa, gerando assim duas novas soluções, C e D. Nestas é aplicado uma busca intensiva e direcionada na esperança de encontrarmos alguma melhoria, esta busca é feita com a meta-heurística Busca Tabu. É por isso que o processo é denominado híbrido. O algoritmo genético gera um conjunto de soluções iniciais cada vez melhores e utilizando a Busca Tabu melhoramos ainda mais estas soluções, fazendo com que estas duas meta-heurísticas trabalhem em conjunto.

Este processo é repetido até que os critérios de parada sejam atingidos: uma solução ótima ou determinado tempo de CPU.

## Capítulo 2

# Revisão Bibliográfica

Variantes do problema de alocação de pessoal tem sido de interesse da pesquisa operacional por muito anos. Muitos trabalhos têm sido feitos desde que o primeiro artigo foi escrito por Dantzig [3], em 1954.

Algumas considerações importantes sobre o problema de alocação de turnos de trabalho são os ciclos circadianos, que está associado com os horários de sono de cada pessoa, e também a interferência com a vida social de cada indivíduo. Os efeitos do trabalho em turnos podem depender de muitas variáveis tais como: fatores pessoais, condições de trabalho e sociais entre outras. Knauth [7] [8] expõe algumas recomendações importantes para que seja minimizado os efeitos do trabalho em turnos. Em Knauth e Kiesswetter[9] é feito um experimento para avaliar as reações dos organismos de trabalhadores de uma indústria de alimentos às rotações de turnos. Existem muitas coisas que podem caracterizar um trabalho em turnos tais como: número de turnos consecutivos, distribuição do tempo livre, direção de rotação (diurno → vespertino → noturno), horário em que os turnos começam e terminam, mercado de trabalho, condições trabalhistas, recomendações fisiológicas, psicológicas e sociais para o design do sistema de turnos que são baseadas em algum critério tal como ajuste psicológico ao trabalho noturno, bem estar, saúde, performance durante o trabalho, acidentes, família e vida social ou utilização do tempo livre.

Warner [12] descreve uma esquematização de enfermeiras como "um grande problema de programação multi-objetivo", aonde a função objetivo quantifica as preferências individuais levando em consideração os dias de trabalho consecutivos, padrões de rotação e pedidos de dias de folga. O problema é resolvido com uma modificação do algoritmo de Balintfy e Blackburn (veja

Warner [12]), para problemas de programação multi-objetivo.

O sistema descrito em Warner [12] é composto de duas fases. Inicialmente um conjunto de decisões é feito pela enfermeira chefe levando em consideração a cobertura, finais de semana, rotações e qualidade. Cada enfermeira pode distribuir certos pesos de acordo com a sua aversão em trabalhar sobre determinadas condições, cada uma tem 50 pontos para distribuir entre as seguintes restrições, turno isolado, dia de descanso isolado, grupos de trabalho de 6, 7 ou 8 dias consecutivos e se o grupo de trabalho consecutivo inclui 3 dias do final de semana.

A decisão é modelada como um problema de programação multi-objetivo, onde cada enfermeira define uma categoria de variáveis e cada variável é uma potencial alocação para a enfermeira. São geradas 600 possíveis alocações por enfermeira, das quais somente as 50 melhores são utilizadas no modelo e entre 10 e 20 são totalmente factíveis para cada enfermeira.

Com um enfoque diferente Dowsland [4] utiliza uma variante da Busca Tabu, que oscila entre encontrar uma cobertura factível e a melhoria em termos das preferências pessoais. Para isso ela utiliza duas funções objetivo: uma que mede a factibilidade e quando essa chega a zero o programa oscila para uma segunda função objetivo a qual mede o quanto as preferências pessoais estão sendo satisfeitas. Duas vizinhanças são utilizadas para que se tente diminuir o custo sem perder a factibilidade, se a busca atinge um ótimo local com respeito as duas vizinhanças então o programa oscila novamente e tenta encontrar uma nova solução factível.

Carter e Lapierre [2], descrevem as características e o método utilizado para se resolver o problema de alocação de médicos em uma sala de emergência, e também mostram as diferenças entre alocação de médicos e enfermeiras mais comumente encontradas na literatura.

Foram visitados 6 hospitais na grande Montreal e algumas características comuns foram encontradas. Por exemplo os casos mais graves são tratados em primeiro lugar, enquanto, os menos graves esperam até que sejam tratados todos os casos prioritários. A maioria dos médicos prefere trabalhar durante o dia ao invés de trabalhar à noite, durante os dias de semana ao invés de finais de semana. São descritas também algumas regras para a esquematização de turnos para médicos, tais como: é necessário existir pelo menos 16 horas entre um turno de trabalho e outro, (lembrando que em Montreal cada turno é de no máximo 8 horas, um período de trabalho tem que ter por volta de 2 a 4 turnos), dias de folga são colocados em blocos de no mínimo 2 dias consecutivos após um trabalho diurno e 3 dias após um trabalho noturno.

Quanto aos finais de semana, sábados e domingos, normalmente são colocados juntos e igualmente distribuídos pelo horário; blocos de trabalho noturno têm que ser igualmente bem distribuídos pelo horário.

Os autores em [2] mostram 2 casos ilustrando o trabalho feito no Hospital Charles-Lemoyne e no General Jewish Hospital.

No primeiro caso é utilizada uma alocação cíclica de 37 dias sem rotação, onde cada médico de tempo integral trabalha 18 de 37 dias. Têm-se casos de médicos que trabalham  $2/3$  e  $1/3$  do tempo de trabalho integral, quando isso acontece dois ou mais médicos de período parcial são tratados como um de período integral e a divisão é feita somente no horário final. Foi utilizada Busca Tabu para melhorar a solução inicial seguindo as recomendações de Knauth [7] a melhor solução encontrada pela metaheurística foi implementada em Junho de 1998.

Já no Hospital Judeu, "Jewish General Hospital" tem-se uma alocação mais complexa, porque cada médico trabalha um número diferente de dias e a distribuição dos tipos de turnos é feita seguindo um critério de senioridade. Mas, em média, um médico de tempo integral trabalha 3 turnos de 8 horas por semana. Neste caso foi utilizado um algoritmo desenvolvido por Buzon e Lapierre [1] para gerar um horário de 3 meses respeitando preferências pessoais e dias de folga de cada médico.

## Capítulo 3

# Modelo matemático

Neste capítulo abordaremos as diversas características do modelo matemático envolvido neste problema, tais como: as variáveis utilizadas, um detalhamento de cada restrição, o porque ela é importante e em quais casos é utilizada. Toda restrição apresentada aqui é colocada na forma de penalizações na função objetivo, com exceção da restrição de demanda hospitalar.

### 3.1 Variáveis

Definimos a variável  $h_{t,m,d}$ , como uma variável binária aonde.

$$h_{t,m,d} = \begin{cases} 1 & \text{se o turno } t \text{ está alocado para o médico } m \text{ no dia } d \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Só para termos uma idéia da quantidade de variáveis, suponha que temos um horário de 13 semanas, para 50 médicos e 3 tipos de turnos diferentes, manhã, tarde e noite. Então, teremos um total de 1950 variáveis. Isto seria considerado um problema de tamanho médio, pois, geralmente, os hospitais trabalham com mais turnos do que isso e consideram mais dias.

A Figura 3.1, mostra os diversos tipos de restrições e como elas serão agrupadas no decorrer deste capítulo.

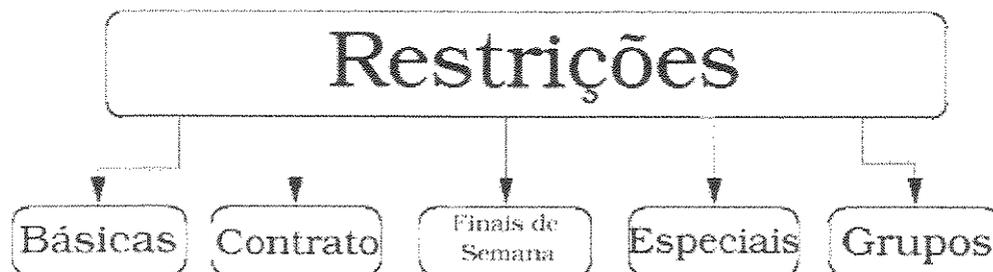


Figura 3.1: Tipos de restrições

## 3.2 Restrições Básicas

Essas restrições descrevem a quantidade de cada tipo de turno necessária em cada dia. Nós começamos com o número correto em cada dia, e cada vizinhança foi desenvolvida de modo que este número nunca seja alterado. Logo, as restrições básicas serão sempre satisfeitas, mas, mesmo assim temos uma função que verifica a factibilidade da solução final. Na Tabela 3.1 temos um exemplo da demanda para cada tipo de turno no Hospital Judeu de Montreal, na primeira coluna temos os vários tipos de turnos utilizados por este hospital, uma explicação detalhada de cada um deles está na Tabela 3.2

### 3.2.1 Restrições de demanda hospitalar

Estas restrições deverão sempre ser respeitadas, e são chamadas restrições básicas ou restrições de demanda hospitalar significam o número de médicos presentes na sala de emergência em cada turno. Esse número é a demanda do hospital. Sabemos que uma sala de emergência não pode funcionar eficientemente com falta de médicos, e o excesso não é bom para o hospital do ponto de vista financeiro, além de fazer o médico trabalhar em um horário desnecessário, gerando fadiga e stress.

Em linguagem matemática temos:

$$\sum_m h_{t,m,d} = c_{t,d} \quad (3.1)$$

Onde  $c_{t,d}$  é a quantidade do turno  $t$  no dia  $d$  exigida pelo hospital.

Turno	Segunda	Terça - Sexta	Sábado	Domingos	Feriados
D1	1	1	0	0	0
D2	1	0	0	0	0
FT	1	1	0	0	0
E1	1	1	0	0	0
E2	1	1	0	0	0
PP	1	1	0	0	0
NT	1	1	0	0	0
SS	1	1	0	0	0
X1	0	0	1	1	1
X2	0	0	1	1	1
Y1	0	0	1	1	1
Y2	0	0	1	1	1
ZZ	0	0	1	1	1

Tabela 3.1: Demanda do Hospital Judeu de Montreal

### 3.2.2 Dias de descanso

Não é permitida a mudança de um turno que está marcado como dia de folga, ou seja, isto é uma restrição básica. Mas isso poderia ser permitido e penalizado severamente, quando algum dia de folga não fosse respeitado, a implementação feita não permite a mudança de algum turno de férias em hipótese alguma, pois consideramos isto uma opção pessoal dos médicos.

$$h_{t,m,d} = \text{Vacation}_{m,d} \quad (3.2)$$

Onde  $\text{Vacation}_{t,m,d}$  é descrito pela Tabela 3.4.

## 3.3 Restrições de Contrato

As restrições que chamaremos de “*restrições de contrato*” estão relacionadas não necessariamente a um contrato no sentido formal da palavra, mas sim a uma carga de trabalho prevista para cada médico. Este trabalho pode ser algum turno específico ou simplesmente uma carga horária que deverá ser cumprida.

### 3.3.1 Diferença entre os turnos trabalhados e turnos no contrato

O somatório no primeiro termo da Equação 3.3 representa o trabalho realizado pelo médico no período considerado, e este deve ser igual à soma das quantidades de cada turno optado previamente pelo médico,  $pref_{t,m}$ , que é a quantidade do turno  $t$  que o médico  $m$  optou por trabalhar.

$$\sum_{t,d} h_{t,m,d} = \sum_t pref_{t,m} \quad (3.3)$$

Esta restrição pode ser substituída por outra mais flexível como

$$\sum_t pref_{t,m} - \varepsilon \leq \sum_{d,t} h_{t,m,d} \leq \sum_t pref_{t,m} + \varepsilon, \forall m \quad (3.4)$$

Onde  $\varepsilon \in N$  é o grau de liberdade dado ao programa. Por exemplo se o médico pediu para trabalhar 10 turnos no período considerado e tivermos  $\varepsilon = 1$ , então o modelo considera que ele poderá trabalhar  $10 - \varepsilon = 9$ , 10 ou  $10 + \varepsilon = 11$  turnos.

### 3.3.2 Mais dias livres do que o previsto

Para uma boa distribuição dos turnos é necessário que tenhamos uma boa distribuição dos dias livres, na verdade uma coisa é consequência da outra. Para tanto, a existência de mais dias livres do que o previsto é penalizada.

$$\sum_d h''_{folga'',m,d} \leq \text{número máximo de dias livres no período} \quad (3.5)$$

### 3.3.3 Diferença entre turnos trabalhados e pedidos

Esta restrição é semelhante à restrição descrita pela Equação 3.3, mas ao invés de aplicarmos a quantidade total de turnos, ela é aplicada à cada tipo de turno em particular, e para efeito de penalização, diferenciamos os mesmos em noturno, diurno, finais de semana e feriados.

$$\sum_d h_{t,m,d} = pref_{t,m} \quad (3.6)$$

### 3.3.4 Mais do que quatro dias trabalhados por semana

Esta restrição serve para que um médico não trabalhe demasiadamente durante uma semana em relação às outras, e também ajuda a boa distribuição dos turnos de trabalho.

$$\sum_t \sum_d^{d+7} h_{t,m,d} \leq 4 \quad (3.7)$$

### 3.3.5 Sabbath

Médicos Judeus não podem trabalhar durante o Sabbath, para tanto colocamos uma restrição para que seja evitado o máximo possível a alocação destes durante o Sabbath.

$$h_{t,m,7*i-1} < 1, i = \{1, nSemanas\} \quad (3.8)$$

A expressão  $7*i - 1$  é aplicada somente se a semana começar na segunda feira, pois, os dias com este formato,  $7*i$ , serão sempre domingo, logo, todos os dias com o formato,  $7*i - 1$ , sábados.

O conjunto ao qual  $i$  pertence são os naturais de 1 a  $nSemanas$ , onde  $nSemanas$  é o número máximo de semanas consideradas.

## 3.4 Restrições de final de semana

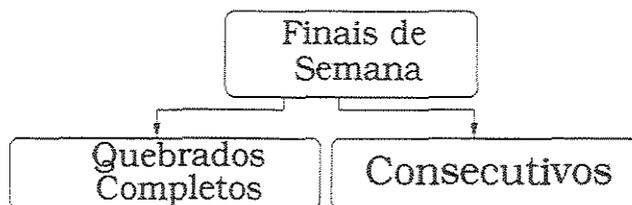


Figura 3.2: Tipos de Finais de Semana

Existem basicamente dois tipos de finais de semana: finais de semana quebrados e os completos. O primeiro tipo significa que o médico prefere trabalhar somente um dia: sábado ou domingo durante o final de semana, mas, não os dois. O segundo significa que o médico prefere trabalhar os dois

dias seguidos. O médico escolhe qual o tipo de trabalho que mais lhe atrai e uma penalização é imposta para garantir que o contrário ocorra o menor número de vezes possível.

Não é permitido aos médicos trabalharem dois ou mais finais de semana consecutivos, essa restrição torna o horário mais justo no sentido da interação social do médico, além de não concentrar o trabalho nos finais de semana em um só período.

As restrições aplicadas à cada tipo são:

- **Finais de semana quebrados**

$$\sum_t [h_{t,m,7*i-1} + h_{t,m,7*i}] \leq 1, \quad i \in \{1, nSemanas\} \quad (3.9)$$

- **Finais de semana completos**

$$\sum_t h_{(t, m, 7*i-1)} - \sum_t h_{(t, m, 7*i)} = 0, \quad i \in \{1, nSemanas\} \quad (3.10)$$

Aqui o médico tem que optar por um dos dois tipos de finais de semana, nunca podendo escolher os dois. Mas, poderá não escolher nenhum, neste caso nenhuma restrição será adicionada para o referido médico.

- **Finais de semana consecutivos**

Não é aconselhável ao médico trabalhar vários finais de semana consecutivos, pois, isto acarreta uma grande insatisfação por parte do médico, além do fato de a interação sócio-familiar ficar restringida à dias de semana.

Vamos definir a variável  $w_{i,m} = \max_t \{h_{t,m,7i}, h_{t,m,7i-1}\}$

$$w_{i,m} = \begin{cases} 1 & \text{se o médico } m \text{ trabalha no final de semana } i \\ 0 & \text{se o médico } m \text{ não trabalha no final de semana } i \end{cases}$$

$$w_{i,m} + w_{i+1,m} \leq 1, \quad \forall i \in [1, nSemanas], \forall m \quad (3.11)$$

onde  $[1, nSemanas]$  é o conjunto dos finais de semana.

## 3.5 Turnos Especiais

Os turnos especiais podem ser de vários tipos, tais como finais de semana, feriados e turnos da noite. Eles tem uma penalização especial quando calculada a função objetivo por serem de difícil distribuição ou não populares entre os médicos.

O turno da noite é muito importante, pois, afeta consideravelmente o ciclo circadiano. Quando são feitos muitos turnos noturnos em seqüência, os médicos ficam mais propensos a fadiga e a erros. Já os finais de semana e os feriados precisam ser muito bem divididos, pois, são turnos de trabalho muito pouco populares entre os médicos.

### 3.5.1 Menos turnos consecutivos do que o exigido

Os médicos escolhem quantos turnos em seqüência eles querem trabalhar, sempre lembrando que quando falamos turnos, estamos nos referindo a turnos de 8 horas de trabalho. Então cada médico escolhe quantos dias de trabalho consecutivos ele permitirá no seu horário.

$$N_{\min} \leq \sum_{t \in T} \sum_{d \in D(t)} h_{t,m,d} \leq N_{\max} \quad (3.12)$$

onde  $T$  é o conjunto de turnos especiais e  $D(t)$  é o conjunto dos grupos de turnos especiais que contém o turno  $t$ .  $N_{\min}$  e  $N_{\max}$  são os limites inferior e superior respectivamente para o tamanho dos grupos.

### 3.5.2 Distribuição dos turnos da noite

Um bom horário caracteriza-se pela boa distribuição dos turnos da noite, ou seja, dois grupos de turnos noturnos devem estar separados por um mínimo de dias sem trabalho noturno. Por isso, é pré-definido um número mínimo de dias entre dois grupos de noites.

Sejam  $d_k$  os dias onde temos o começo ou o final de um grupo de turnos da noite (note que  $k$  é sempre um número par e  $\frac{\max\{k\}}{2}$  é o número de grupos em que os turnos estão distribuídos) e  $n_{\text{MinNoite}}$  o número mínimo de dias entre dois grupos de turnos noturnos.

$$\sum_{d=d_{2i}+1}^{d_{2i+1}-1} h_{t,m,d} \geq \text{nMinNoite}, \forall i \in [1, \frac{\max\{k\}}{2} - 1] \quad (3.13)$$

## 3.6 Grupos

Para diminuir o estresse das salas de emergências, os grupos de turnos devem ser de um tamanho tal que não seja muito longo, para não deixar o médico fatigado, e nem muito curto, pois, isto geraria um número maior de grupos e conseqüentemente, mais mudanças no ciclo circadiano do médico.

Seja a variável  $G_{j,Ct}$  o tamanho de cada grupo de turnos  $j$  pertencente à classe  $Ct$  (Classe de turnos). Uma classe de turnos é o conjunto de turnos semelhantes. Por exemplo, na Tabela 3.2 temos os turnos do Hospital Judeu de Montreal. Nela os turnos D1, D2, E1 e E2 são semelhantes, pois, todos são trabalho diurno.

### 3.6.1 Dias de trabalho isolados

Os dias de trabalho isolados prejudicam um bom horário, pois, como os médicos têm uma certo números de horas a cumprir é muito provável que tenhamos grupos com mais turnos do que o máximo permitido. Além, é claro, de ser uma mudança difícil para o médico.

### 3.6.2 Dias de folga isolados

Devem existir pelo menos dois dias de folga entre um grupo e o seguinte para o descanso do médico para assim não perturbar muito o ciclo circadiano.

### 3.6.3 Turno noturno isolado

Não é aconselhável um médico trabalhar um turno da noite isolado, pois, é desgastante e a alteração no ciclo circadiano é muito grande.

### 3.6.4 Grupos de tamanho diferente do que o especificado

$$Min_{Ct} < G_{j,Ct} < Max_{Ct}, \forall j, \forall Ct \quad (3.14)$$

aonde  $Max_{Ct}$  e  $Min_{Ct}$  são os tamanhos máximo e mínimo permitido para o grupo de turnos da classe  $Ct$ . Este valor pode variar se tivermos um grupo de turnos da noite, diurno, finais de semana, dias livres, etc.

Com esta restrição podemos considerar também os dias isolados de trabalho e de folga, para isto basta atribuir o valor 2 para  $Min_{Ct}$  para os respectivos grupos.

## 3.7 Ciclo circadiano

Não é bom para o ciclo circadiano uma mudança muito brusca, principalmente dentro de um grupo. No entanto se for inevitável é aconselhável que seja feita da seguinte forma:

- Diurno  $\rightarrow$  Vespertino ou Noturno
- Vespertino  $\rightarrow$  Noturno
- Noturno  $\rightarrow$  sem mudança

pois, se considerarmos turnos de 8 horas sempre que ocorre uma das mudanças acima o médico tem pelo menos 16 horas de descanso.

#### ● Grupos com turnos noturnos e diurnos juntos

$$h''_{noturno'',m,d} + h''_{diurno'',m,d+1} \leq 1 \quad (3.15)$$

$$h''_{noturno'',m,d} + h''_{vespertino'',m,d+1} \leq 1 \quad (3.16)$$

#### ● Mudança [Diurno; Vespertino] $\rightarrow$ [Noturno]

$$h''_{diurno'',m,d} + h''_{noturno'',m,d+1} \leq 1 \quad (3.17)$$

$$h''_{vespertino'',m,d} + h''_{noturno'',m,d+1} \leq 1 \quad (3.18)$$

- Mudança [Vespertino]  $\rightarrow$  [Diurno]

$$h''_{\text{vespertino}'',m,d} + h''_{\text{diurno}'',m,d+1} \leq 1 \quad (3.19)$$

### 3.8 Função Objetivo

O nosso problema de alocação de médicos, consiste em encontrar uma solução que respeite todas as restrições do problema. No problema temos dois tipos de restrições: as que têm obrigatoriamente que serem respeitadas como por exemplo a demanda hospitalar e dias de folga, e outras que gostaríamos que fossem respeitadas, como por exemplo, as preferências pessoais de cada médico.

O segundo tipo de restrições, será incorporada na função objetivo (FO), de forma simplista, o problema de alocação ficaria assim:

$$\begin{aligned} \text{Minimizar } z &= a_1C_1 + a_2C_2 + a_3C_3 + \dots + a_nC_n \\ \text{Sujeito a:} & \\ & Ax = b \\ & x \in \{0, 1\} \end{aligned}$$

onde  $C_i$  é o número de vezes que a restrição  $i$  não foi respeitada e  $a_i$  é o peso dado à restrição  $i$ .

Dizemos que uma solução é factível quando ela respeita a demanda hospitalar, descrita matematicamente por  $Ax = b$ .

### 3.9 Dados de entrada

Nesta seção serão mostradas as diferentes características de cada dado de entrada utilizado pelo programa.

Os dados de entrada serão mostrados em formato de tabelas tais como: as preferências dos médicos em relação aos diversos tipos de turnos de trabalho utilizados pelo programa, dias em que os médicos estarão impossibilitados de trabalhar, uma solução inicial e a tabela de características aonde estão

resumidas todas as informações referentes às restrições do problema. Todos os dados foram obtidos diretamente do Hospital Judeu de Montreal.

### 3.9.1 Tabela de turnos

A Tabela 3.2 mostra os diversos turnos utilizados pelo hospital Judeu de Montreal, tais como horários de trabalho, horários iniciais e finais e os dias da semana que serão aplicados. Por exemplo o turno *D1* começa às 8:00 horas e termina às 17:00hs, ele só é aplicado durante os dias de semana, o turno *X2* é o equivalente ao turno *D1*, mas, aplicado somente aos finais de semana e feriados.

Turno	Começo	Final	Aplicação
D1	8h00	17h00	Dias de semana
D2	8h00	16h00	Todo 1° dia útil da semana
S	8h00	12h00	Dias de semana
FT	8h00	16h00	Dias de semana
P	12h00	20h00	Dias de semana
E1	16h00	23h00	Dias de semana
E2	16h00	24h00	Dias de semana
NT	23h00	8h00	Dias de semana
OC	0h00	23h53	Somente se necessário
X1	8h00	16h00	Finais de semana e feriados
X2	8h00	17h00	Finais desesemana e feriados
Y1	16h00	24h00	Finais de semana e feriados
Y2	16h00	23h00	Finais de semana e feriados
Z	23h59	8h00	Finais de semana e feriados

Tabela 3.2: Tabela de turnos do Hospital Judeu

### 3.9.2 Tabela de opções dos médicos

A Tabela 3.3 mostra quantos turnos de cada tipo o médico optou por trabalhar no período considerado de 13 semanas. Observe na coluna “Total” que os médicos trabalham diferentes quantidades de turnos, o que dificulta a boa distribuição dos turnos, e impossibilita-nos de utilizar um algoritmo para alocações cíclicas, pois, não existem ciclos, visto que cada médico tem uma carga horária diferente.

	D1	D2	FT	E1	E2	P	NT	S	X1	X2	Y1	Y2	Z	Total
Med-0	4	0	2	2	0	0	0	0	2	0	1	0	0	11
Med-1	7	0	8	4	2	3	1	0	2	0	1	0	2	30
Med-2	3	0	3	3	2	5	2	5	1	0	1	1	2	28
Med-3	5	0	7	5	2	5	2	3	2	0	2	0	3	36
Med-4	3	0	2	3	1	5	2	12	1	0	1	1	2	33
Med-5	3	0	0	2	0	1	1	9	1	0	2	0	1	20
Med-6	3	0	0	4	0	4	2	9	3	0	2	0	2	29
Med-7	2	1	0	5	2	7	3	9	2	0	2	0	3	36
Med-8	5	1	0	4	5	3	3	8	1	2	2	1	3	38
Med-9	0	0	1	3	1	0	1	0	0	1	0	3	2	12
Med-10	2	0	0	5	2	7	4	6	2	0	2	1	2	33
Med-11	2	1	4	0	2	0	5	0	1	2	0	3	0	20
Med-12	1	2	4	1	3	0	7	0	1	3	0	4	0	26
Med-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	3	0	12
Med-14	0	0	0	0	11	0	0	0	0	2	0	0	0	13
Med-15	4	1	5	2	5	1	9	0	3	2	3	4	0	39
Med-16	3	1	4	3	6	0	9	0	3	1	5	1	0	36
Med-17	3	1	1	4	3	6	3	0	2	1	2	0	2	28
Med-18	2	0	1	1	1	0	3	0	0	1	1	1	0	11
Med-19	5	2	10	0	9	0	0	0	0	6	0	7	0	39
Med-20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Med-21	2	1	5	5	2	7	2	0	1	0	2	0	3	30
Med-22	2	1	4	5	2	5	2	0	2	0	1	0	3	27
Med-23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabela 3.3: Opções de trabalho

### 3.9.3 Tabela de férias dos médicos

Os médicos podem optar por um determinado número de dias de folga, e este número varia de acordo com os critérios do hospital. Existem alguns médicos que são impossibilitados de trabalhar em certos dias da semana, para isso alocamos estes dias como férias. Por exemplo, o médico 9 na Tabela 3.4 não pode trabalhar às segundas, quartas e quintas feiras. Em um caso como este pode-se gerar uma alocação não muito boa, pois, a semana fica com pequenos intervalos de um dia, e no caso do Hospital Judeu de Montreal os médicos são alocados em seqüências de dias. Existe também o caso de médicos Judeus que não podem trabalhar durante o Sabbath, mas, isso foi colocado como restrição (veja Seção 3.3.5). A Tabela 3.4 mostra uma tabela de férias: os dias assinalados com um asterisco são os dias de folga ou férias pedidos pelos médicos. A primeira coluna é o código do médico, por exemplo, M12 é igual a médico de número 12.

	s t q q s s d	s t q q s s d	s t q q s s d	s t q q s s d	s t q q s s d	s t q q s s d	s t q q s s d	s t q q s s d	s t q q s s d	s t q q s s d	s t q q s s d	s t q q s s d	s t q q s s d
M 0			*	***	*****	*****			**	*****			
M 1													
M 2		*										*	***
M 3				**	*****	*****							***
M 4					***	*****	*****						
M 5													
M 6		**	*****	*	***	*****			*	*****			***
M 7									**	*****			
M 8										*****	*****	*****	
M 9	*	**	* **	* **	* **	* **	* **	* **	* **	* **	* **	* **	* **
M10													
M11	*	*****	*	***	*****	*	*****					*	***
M12	*											*	***
M13								**	*****			*	***
M14		*	*		***	*****	*****					*	
M15	*							**	*****	*****		*	
M16													
M17	*	*		***	*****	*	*	*	*	*	*	*	*
M18										*	*	*	*
M19			*							*****	*****	*****	*****
M20	*	*****	*	*****	*****	*	*****	*	*****	*	*****	*	*****
M21													
M22		**		**	*****						*		
M23													

Tabela 3.4: Férias e dias de folga

### **3.9.4 Solução Inicial**

A solução inicial pode ser qualquer solução que chamamos factível por coluna, isto é, que sejam respeitadas todas as demandas do hospital para cada dia do período considerado. Na Tabela 3.5 é mostrado um exemplo de solução inicial. Observe que os turnos estão atribuídos em excesso a certos médicos e existem muitos médicos sem nenhum turno de trabalho. Não é preciso ser um “expert” em alocação para se notar que esta solução é muito ruim; no entanto, ela é de extrema importância para a alocação, pois, é a nela que está determinado o número de turnos para cada dia do nosso horizonte. O objetivo de tal solução é somente que ela sirva como solução inicial e que seja factível por colunas.

	s	t	q	q	s	s	d	s	t	q	q	s	s	d	s	t	q	q	s	s	d	s	t	q	q	s	s	d	s	t	q	q	s	s	d	
Med- 0	D1	...																																		
Med- 1	D2							D2							D2																				...	
Med- 2	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	...	
Med- 3	E1	...																																		
Med- 4	E2	...																																		
Med- 5	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	...	
Med- 6	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	...	
Med- 7	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	...	
Med- 8																																			...	
Med- 9																																			...	
Med-10				X1	X1								X1	X1																				X1	X1	
Med-11				X2	X2								X2	X2	X2																				X2	X2
Med-12																																			...	
Med-13				Y1	Y1								Y1	Y1	Y1																				Y1	Y1
Med-14				Y2	Y2								Y2	Y2	Y2	Y2																			Y2	Y2
Med-15																																			...	
Med-16				Z	Z	Z							Z	Z	Z	Z																			Z	Z
Med-17																																			...	
Med-18																																			...	
Med-19																																			...	
Med-20																																			...	
Med-21																																			...	
Med-22																																			...	
Med-23																																			...	

Tabela 3.5: Solução Inicial

### 3.9.5 Matriz de características

Todas as preferências individuais dos médicos, bem como os pesos de todas as restrições estão relacionadas em uma matriz, a que chamamos de matriz de características, relacionamos cada coluna desta matriz a um médico, e cada linha com uma preferência do médico ou o peso de determinada restrição. Uma descrição de cada linha desta matriz está na Tabela 3.6, as linhas não utilizadas são reservadas para uma futura extensão em termos de preferências pessoais ou restrições.

número	Descrição
c0	finais de semana quebrados
c1	dois ou mais finais de semana consecutivos
c2	mais turnos do que o permitido em um grupo noturno
c3	diferença entre o pedido e o alocado em relação aos turnos da noite
c4	---Não Utilizado---
c5	Dias de trabalho isolados
c6	Noites de trabalho isoladas
c7	turnos diurnos e noturnos misturados
c8	penalização para os turnos da noite
c9	---Não Utilizado---
c10	número mínimo de dias de descanso entre dois grupos de trabalho
c11	---Não Utilizado---
c12	dias de descanso isolados
c13	---Não Utilizado---
c14	dois grupos consecutivos do mesmo tipo
c15	mudança não permitida em um grupo de dias
c16	sequência não permitida
c17	dias livre > máximo dias livre
c18	número máximo de dias livre em sequência
c19	número máximo de turnos da noite
c20	número de turnos noturnos pedidos
c21	finais de semana completos
c22	Sabatt
c23	mais do que 4 dias de trabalho na semana
c24	descanso de no mínimo 2 dias após um grupo de trabalho noturno
c25	contrato total
c26	contrato para turnos do dia
c27	contrato para turnos da noite
c28	---Não Utilizado---
c29	número máximo de turnos seguidos (grupos)
c30	penalização para grupo maior do que o desejado em 1 turno
c31	penalização para grupo maior do que o desejado em 2 turnos ou mais
c32	---Não Utilizado---
c33	---Não Utilizado---
c34	---Não Utilizado---

Tabela 3.6: Descrição das características

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
c0	0	0	0	4	0	0	15	10	10	4	10	10	10	10	0	2	10	10	4	4	0	4	4	0
c1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0	3	3	1	3	3	3	3	0	3	3	0
c2	0	10	10	7	15	7	7	7	1	7	7	10	10	0	7	7	7	7	7	7	0	7	7	0
c3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
c4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
c5	0	0	0	0	0	0	0	5	5	0	5	2	0	0	0	2	5	5	0	5	0	5	5	0
c6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
c7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
c8	0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	0	10	5	10	10	10	10	0	10	10	0
c9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
c10	0	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	0	0	7	7	7	7	7	7	0	7	7	0
c11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
c12	1	1	0	0	0	1	1	0	0	5	0	5	0	5	5	5	5	5	5	0	0	0	5	0
c13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0
c14	0	1	1	1	1	0	2	2	2	0	2	2	0	0	0	1	2	2	0	2	0	2	2	0
c15	15	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
c16	0	1	1	1	1	2	2	2	2	0	2	2	2	0	0	1	2	2	0	2	0	2	2	0
c17	3	5	5	5	5	2	2	2	5	2	2	2	2	0	4	10	10	2	5	2	0	2	2	0
c18	20	20	20	20	20	10	10	10	4	10	10	6	4	10	10	3	5	10	10	10	0	10	10	10
c19	1	3	2	3	1	1	2	3	2	2	5	3	1	0	0	2	3	5	3	3	0	3	3	3
c20	1	1	1	3	1	1	1	4	4	2	4	2	1	0	0	2	2	2	1	3	0	2	2	2
c21	10	20	20	0	20	20	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
c22	50	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
c23	10	50	50	50	50	50	50	50	75	10	50	50	50	50	50	75	75	50	50	50	0	50	50	0
c24	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
c25	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
c26	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	30
c27	25	25	25	25	25	25	25	25	30	25	30	30	25	25	25	30	30	25	25	25	0	25	25	30
c28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
c29	1	2	2	2	2	2	2	3	3	2	3	2	2	2	2	3	3	3	2	3	0	3	2	2
c30	5	5	5	5	5	5	5	3	3	5	2	5	5	5	5	2	5	5	5	5	0	1	1	0
c31	5	5	5	5	5	5	5	5	5	10	5	5	5	5	5	5	5	5	10	5	0	5	5	0
c32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
c33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
c34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabela 3.7: Características

Como exemplo de utilização destas duas tabelas, Tabela 3.6 e Tabela 3.7 pegaremos os médicos 8 e 9 olhando para a linha c18 da primeira tabela, vemos que esta linha significa “número máximo de dias livres em seqüência”. Então o número máximo de dias livres para o médico 8 é de 4 dias e para o médico 9 é de 10 dias. Deste modo temos todos os pedidos pessoais de cada médico resumidos nestas tabelas, temos também os pesos de cada restrição para cada médico: por exemplo na linha C30, temos a penalização para grupo maior do que o desejado em 1 turno.

Com o problema modelado matematicamente, nos resta aplicar algum método de resolução, e como o modelo é demasiado grande e inteiro, algum método exato seria muito caro computacionalmente. E devido ao alto número de restrições, não poderemos afirmar que existe uma solução que satisfaça-as simultaneamente. Então, escolhemos uma abordagem que utiliza as meta-heurísticas Algoritmos Genéticos e Busca Tabu, em um processo híbrido que será descrito nos próximos capítulos.

## Capítulo 4

# Busca Tabu

### 4.1 Introdução

Busca Tabu é uma meta-heurística que guia a geração de vizinhança de tal maneira a superar a otimalidade local. Ela é especialmente desenvolvida para permitir uma piora no valor da solução, para que se possa fugir de ótimos locais.

Características Principais :

- Memória Adaptativa : guarda elementos importantes da história da busca.
- Estratégias de busca baseadas em memória : exploram características de boas soluções e exploram regiões promissoras.
- Tabu : restrições na busca envolvendo proibição de movimentos, penalização de movimentos e\ou probabilidade de seleção de movimentos.

O elemento fundamental da Busca Tabu é o uso de memória flexível, que é o procedimento de criar e explorar estruturas levando-se em consideração a história de movimentos anteriores, para maiores detalhes sobre a Busca Tabu veja Glover[5].

### 4.2 A Lista Tabu

Quando uma solução é alterada por uma vizinhança, esta alteração é registrada em uma lista, a qual chamamos de Lista Tabu, que é constituída de

três elementos: o primeiro nos diz que tipo de turno foi alterado, o segundo e o terceiro nos dizem que posição, linha e coluna, que este turno ocupava anteriormente. Sempre que alguma alteração vai ser feita na solução, é checada toda a Lista Tabu se encontrada esta alteração, ela só será aceita se tiver o menor score já encontrado, isto é o que chamamos de critério de aspiração, ou seja, a alteração será feita mesmo que seja tabu. Não existe um tempo determinado para que um elemento saia da lista, pois, utilizamos uma lista cíclica, então quando a lista estiver cheia, começamos a preenchê-la novamente substituindo seus primeiros elementos. O tamanho da lista tabu utilizada é fixo durante toda a execução, mas pode variar de acordo com o problema, dependendo do número de médicos e o período considerado.

### 4.3 Vizinhanças

As vizinhanças podem ser vistas como o espaço onde a busca é feita, cada vizinhança utilizada pela Busca Tabu no processo Híbrido tem uma característica fundamental: ela nunca perde a factibilidade por colunas, ou seja, a demanda do hospital está sempre satisfeita.

#### 4.3.1 Vizinhança 1

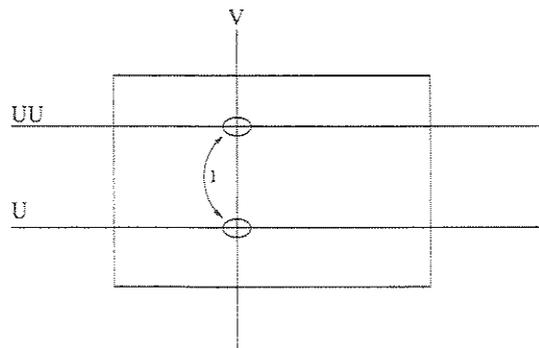


Figura 4.1: Vizinhança 1

Esta vizinhança seleciona uma quantidade pré-determinada de colunas e faz uma busca em cada uma delas separadamente, somente evitando trocas entre turnos do mesmo tipo e turnos alocados como férias.

### 4.3.2 Vizinhança 2

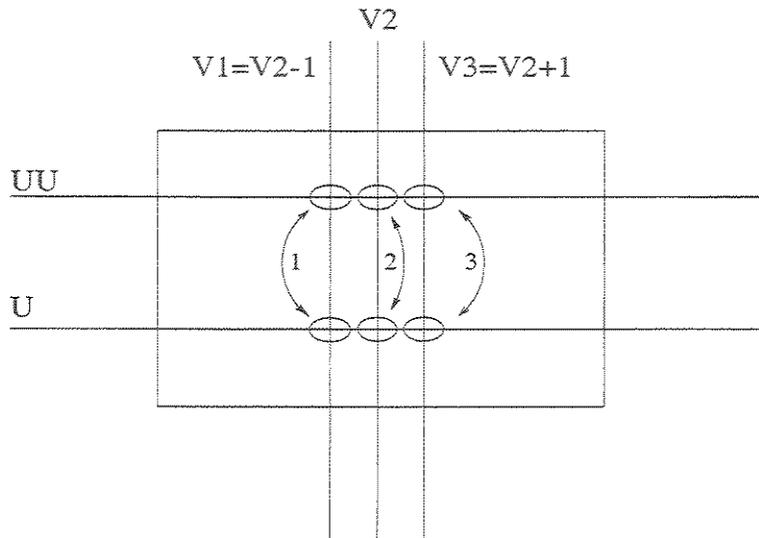


Figura 4.2: Vizinhança 2

Esta vizinhança tem como parâmetro de entrada uma variável que determina a quantidade de colunas em que a vizinhança será aplicada. Cada vez que a vizinhança é chamada ela faz uma busca para todos os pares de médicos (*variáveis*  $U$  e  $UU$ ) na coluna escolhida (*variável*  $V2$ ) na coluna imediatamente anterior (*variável*  $V1$ ) e na coluna imediatamente posterior (*variável*  $V3$ ) como explicado abaixo.

Nesta Vizinhança existem três tipos de busca diferentes:

- O primeiro tipo de busca procura por um turno de trabalho imediatamente após um dia de folga (começo de um grupo), e faz as mudanças 1 e 2 da Figura 4.2 para todos os pares de médicos.
- O segundo tipo de busca procura por um turno de trabalho imediatamente anterior a um dia de folga (final de um grupo), e faz as mudanças 2 e 3 da Figura 4.2 também para todos os pares de médicos.
- O terceiro tipo de busca ocorre quando é encontrado três turnos de trabalho seguidos e então o programa faz as mudanças 1, 2 e 3 da Figura 4.2.

O processo de busca é uma mistura destas duas vizinhanças, aonde primeiro é feita a busca com a *vizinhança 1* e após isto é aplicada a *vizinhança 2*. A solução que entra no processo de Busca Tabu é alterada por um desses movimentos, que chamamos de vizinhanças, esse processo é repetido até que se obtenha um certo número de mudanças sem alteração do melhor score obtido.

## Capítulo 5

# Algoritmos Genéticos

### 5.1 Introdução

A idéia por trás dos Algoritmos Genéticos é imitar a natureza. Por exemplo em uma população de certo tipo de animal sempre existe uma evolução natural, e esta é aplicada de diversas formas, como por exemplo, as disputas para acasalamento, as condições do meio aonde esta população vive, etc. Com isto, os animais mais bem preparados para enfrentar as adversidades do meio, conseguirão passar para as gerações futuras os seus talentos, por meio da genética. Então, de algum modo, os genes dos animais são passados para os seus filhos, estes para os filhos dos filhos e assim por diante.

Os Algoritmos Genéticos (AG) usam esta mesma idéia, isto é toda alocação tem características boas e ruins, a idéia é utilizar uma medida de performance que nos mostre com que grau estas características ruins são apresentadas na solução. Fazemos então um cruzamento, ou “crossover”, com uma outra solução obtendo duas novas soluções, então fazemos as soluções passarem por uma triagem aonde sempre deixamos as melhores irem para a próxima geração; com isto fazemos uma seleção das soluções imitando a natureza.

Os Algoritmos Genéticos são um método de busca multi-direcional, pois, sempre temos uma população de potenciais soluções e encorajamos as trocas de partes entre estas, o que pode ser visto como uma mudança da direção de otimização, ao escolhermos diferentes combinações de soluções, para maiores detalhes veja Michalewics [10].

Neste capítulo veremos como foi feito o Algoritmo Genético para este

problema e também como são guardadas as melhores soluções sem perder a variabilidade.

## 5.2 Parâmetros

Existem diversos parâmetros relativos ao algoritmo genético que serão utilizados neste programa, são eles:

- Número de indivíduos ( $nInd$ ) - é o tamanho da população utilizada em cada geração.
- Probabilidade de Crossover - durante cada geração, cada indivíduo pode ou não ir para o processo de crossover. Essa possibilidade é determinada por este número. (probabilidade)
- Número de médicos - é a quantidade de médicos considerada em cada problema.
- Número de dias ( $nDias$ )- é o nosso período, aonde será feita a distribuição dos turnos.
- Número de turnos - é o quantidade máxima de turnos diferentes que o programa suporta. É considerado um turno qualquer horário de trabalho que tenha um início e um fim e também os casos especiais tais como trabalho durante feriados, finais de semana para efeito de programação, férias e dias de folga também são considerados turnos.

## 5.3 O processo de Crossover

O crossover (Xover) é utilizado para trocar partes de diferentes horários. O processo escolhe dois pontos distintos de corte, pontos (dias) A e B, com,  $0 < A < B < nDias$  e então os turnos entre eles é trocado (Veja Figura 5.1).

No final do processo temos dois horários diferentes, então são calculados os novos scores e é aplicado o algoritmo de Busca Tabu para melhorar os horários. É natural pensar que quando dois horários são permutados desta forma, se forme um ruído na região de fronteira, pontos A e B, então o algoritmo de Busca Tabu é exaustivamente aplicado nessas regiões antes de fazer a busca no horário como um todo.

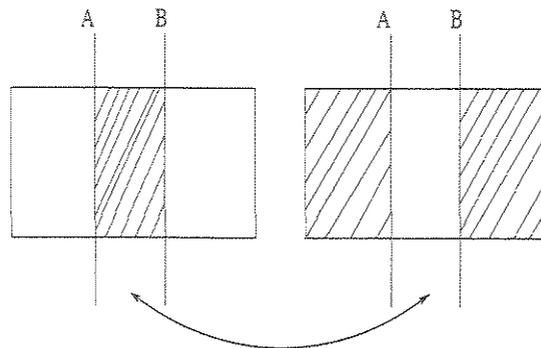


Figura 5.1: O processo de Crossover

## 5.4 Um pequeno exemplo de alocação

Para um melhor entendimento do problema e do que é o processo híbrido, considere a Tabela 5.1, nela temos 4 médicos, o nosso horizonte é de uma semana e temos 3 tipos de turnos, Diurno (**DD**), Vespertino (**TT**) e Noturno (**NN**). Vamos supor que a demanda hospitalar é de um médico em cada turno em cada dia. Então podemos dizer que os horários abaixo satisfazem as restrições de demanda hospitalar.

Observando a Tabela 5.1 vemos que o Médico 2 tem muito mais turnos noturnos que os outros, isto é passível de penalização, pois, os turnos da noite tem que ser bem distribuídos, na linha relativa ao Médico 4 vemos uma rotação do turno da noite (**NN**) para o de dia (**DD**), isto leva o médico a trabalhar dois turnos em seguida, pois, o turno da noite termina às 8 horas e o turno do dia começa às 8 horas, estes são alguns exemplos de quebras nas restrições que serão penalizadas na função objetivo.

Supondo que os Horários 1 e 2 foram os escolhidos para o processo de crossover, e que os pontos de crossover foram da 2ª até a 4ª coluna, então temos como “*offsprings*” as Tabelas 5.3 e 5.4 respectivamente, aonde os turnos em negrito pertenciam ao Horário 2. Aqui podemos notar que o processo de crossover não altera a demanda hospitalar, mantendo assim as restrições de demanda hospitalar satisfeitas para as novas soluções, ou seja, as novas soluções são factíveis por coluna.

Após o processo de crossover é aplicada uma Busca Tabu, com critérios de parada tal que não se estenda por muito tempo, em cada uma das so-

	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sáb	Dom
Médico 1	DD		TT	TT	DD		NN
Médico 2	TT	DD		NN	NN	NN	
Médico 3	NN	TT	DD		TT	DD	DD
Médico 4		NN	NN	DD		TT	TT

Tabela 5.1: Horário 1

	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sáb	Dom
Médico 1		NN	NN	NN		TT	TT
Médico 2	DD	TT	DD		TT	DD	DD
Médico 3	NN		TT	TT	DD		NN
Médico 4	TT	DD		DD	NN	NN	

Tabela 5.2: Horário 2

	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sáb	Dom
Médico 1	DD	NN	NN	NN	DD		NN
Médico 2	TT	<b>TT</b>	<b>DD</b>		NN	NN	
Médico 3	NN		<b>TT</b>	<b>TT</b>	TT	DD	DD
Médico 4		<b>DD</b>		<b>DD</b>		TT	TT

Tabela 5.3: *Offspring 1*

	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sáb	Dom
Médico 1			TT	TT		<b>TT</b>	<b>TT</b>
Médico 2	<b>DD</b>	DD		NN	<b>TT</b>	<b>DD</b>	<b>DD</b>
Médico 3	NN	TT	DD		<b>DD</b>		NN
Médico 4	<b>TT</b>	NN	NN	DD	NN	NN	

Tabela 5.4: *Offspring 2*

luções resultantes, “*offsprings*”. O fato de não deixarmos a BT se estender demasiadamente, se dá pelo fato de que o cerne da Busca Híbrida, seja um trabalho em conjunto entre as meta-heurísticas e não um trabalho isolado de uma delas com múltiplas soluções iniciais.

Um exemplo de vizinhança, para o *Offspring 1*, da Busca Tabu está em negrito na Tabela 5.5.

	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sáb	Dom
Médico 1	DD	NN		<b>DD</b>	DD		NN
Médico 2	TT	TT	DD		NN	NN	
Médico 3	NN		TT	TT	TT	DD	DD
Médico 4		DD	NN	NN		TT	TT

Tabela 5.5: *Exemplo de Vizinhaça*

O fluxograma da Figura 5.2 mostra de forma simplificada, todo o processo em que uma geração de soluções passa, desde a sua entrada no procedimento de algoritmo genético, passando pela busca tabu, atualização do vetor Best (veja seção 5.7) até sua saída para a entrada de uma nova geração.

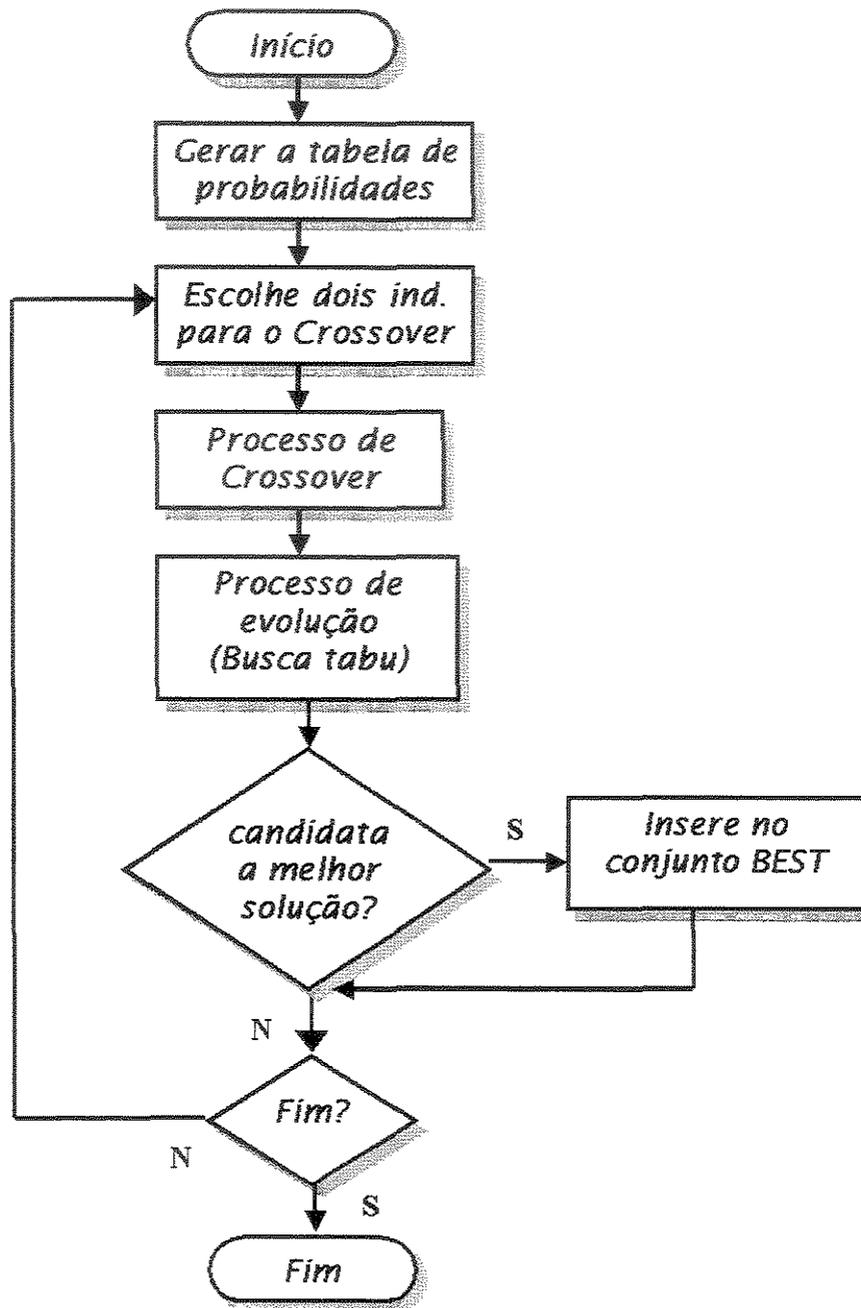


Figura 5.2: Fluxograma do Algoritmo Híbrido

## 5.5 Algoritmo de Busca Tabu

O algoritmo de Busca Tabu foi desenvolvido para melhorar as soluções geradas pelo Algoritmo Genético. Ele é aplicado até que se obtenha um determinado número de iterações sem melhoria, e como dito anteriormente, ele é aplicado primeiramente na região de maior possibilidade de ruído. Uma vez melhorada esta região, o algoritmo é aplicado no horário como um todo.

## 5.6 A nova geração

O primeiro indivíduo da nova geração será sempre o horário com o melhor score na geração anterior; os próximos indivíduos virão do processo de Xover (Crossover) e por fim a nova geração será completada com os indivíduos de melhor performance, onde a probabilidade de algum indivíduo ir para a próxima geração é inversamente proporcional ao seu score.

Uma vez que o desvio padrão de uma geração chegue perto de zero esta geração é descartada, pois, isto demonstra uma perda da variabilidade da geração, e a próxima será formada pelos melhores indivíduos diferentes entre si encontrados até o momento.

## 5.7 O conjunto *Best*

Guardar as melhores soluções parece uma tarefa fácil, mas guardar as melhores soluções que contenham uma significativa diferença entre si é uma tarefa difícil, pois, temos que determinar o quão significativas são as diferenças entre as soluções, para que se mantenha um bom nível de diversidade. O conjunto **Best** é atualizado levando em conta esses fatores, o score das soluções e as diferenças significativas entre elas.

Mas o que é uma diferença significativa? Isto é uma coisa difícil de se avaliar, quantitativamente, mas, sabendo que os turnos da noite e finais de semana são os mais difíceis de se alocar, satisfazendo a todos os médicos, é justamente nesse tipo de turno que se encontram as maiores diferenças entre as soluções, pois, diferentes alocações neste tipo de turnos levam a diferentes horários no processo de Algoritmo Genético e Busca Tabu.

Então são comparados os turnos especiais entre dois horários e a cada diferença encontrada, o fator de diferença entre duas soluções é acrescido

de um ponto, se este fator de diferença é maior do que um número pré-determinado, que é dado em função do número de médicos a serem alocados e do número de dias no nosso horizonte, então existe uma diferença significativa entre as soluções. Se for significativa para todas as soluções do conjunto *Best* então a nova solução fará parte do conjunto substituindo a de pior score.

Um outro modo da solução fazer parte do vetor *Best* é se ela tiver o menor score já encontrado, neste caso, ela será substituída pela solução mais parecida.

Levando em conta esses procedimentos, sempre teremos um conjunto de soluções diferentes entre si, para serem utilizadas caso a nova geração perca a variabilidade.

## 5.8 A solução inicial

O programa começa com uma solução inicial que é lida diretamente de um arquivo text; normalmente é uma solução muito ruim, mas é factível por colunas, ou seja, ela atende a todas as demandas hospitalares para cada dia do período considerado. Para gerar a geração inicial, tomamos esta solução contamos o número total de turnos em cada coluna, ou seja, cada dia do período considerado. Aplicamos uma heurística construtiva, a qual redistribuí os turnos de modo a atender o melhor possível as exigências dos médicos, começando pelos turnos mais difíceis de se alocar, entre eles, turnos da noite, finais de semana, feriados, sem nunca perder a factibilidade por coluna, ou seja, atendendo sempre a demanda hospitalar. Esta heurística construtiva repetida até que tenhamos uma geração inicial, ou seja, um conjunto de soluções iniciais.

A heurística construtiva é rápida e não requer um grande esforço computacional, mas não devolve uma solução que atenda a todas as restrições do problema e sim melhora a distribuição inicial dos turnos. Geralmente, esta heurística devolve uma solução com um score de duas a cinco vezes menor do que a solução inicial.

Neste capítulo foi mostrado como é aplicado o Algoritmo Genético para este problema, bem como a atualização do conjunto de melhor soluções e como é construída uma solução e a geração inicial. No capítulo anterior mostramos como e onde é aplicada a Busca Tabu, finalizando assim o processo híbrido.

## Capítulo 6

# Uma decisão baseada em regras

### 6.1 Introdução

Como um sub-problema da alocação de médicos, temos a determinação dos pesos de cada restrição, para que o algoritmo convirja de maneira mais eficiente. O conjunto de pesos é algo de suma importância para a determinação de um bom horário, pois, muitas vezes alguma restrição é naturalmente mais fácil de ser respeitada do que outras. Havendo assim uma importância relativa entre elas, digamos, uma hierarquia entre as restrições, mas, essa hierarquia muda durante a execução do programa, e o ideal seria que o conjunto de pesos se ajustasse a essa hierarquia.

A determinação destes pesos é também uma questão de se priorizar alguma restrição em detrimento de outras, na verdade, o que queremos é um conjunto de pesos que expresse de maneira eficiente o quanto e quando cada restrição deve ser respeitada.

### 6.2 Conjunto Nebuloso - “Fuzzy”

Na Teoria de Conjuntos, temos que as relações de pertinência são binárias, ou seja, dado um conjunto  $A$  e um elemento  $a$ , este pode ou não pertencer ao conjunto  $A$ . Na teoria de conjuntos nebulosos Klir [6], esta pertinência não é tão elementar, seja  $X$  nosso conjunto nebuloso e  $x$  um elemento, então podemos dizer que  $x$  pertence a  $X$  com grau de pertinência  $p$ , onde  $p \in [0, 1]$  contínuo, ou seja, a pertinência não é mais binária e sim, contínua. Então podemos definir uma função de pertinência que associa cada elemento ao seu

grau de pertinência no conjunto  $X$ , neste caso a imagem desta função está no intervalo  $[0, 1]$ .

Este conceito pode parecer estranho, mas ele é intrínscio da nossa linguagem falada, por exemplo, quando dizemos que uma pessoa é alta, ou que um copo está cheio, não existe uma linha divisória, para se dizer que à partir de determinado ponto alguém é alto, mas, se fosse um milímetro mais baixo ele seria mediano, o mesmo raciocínio pode ser aplicado a um copo cheio ou quase cheio.

A teoria de sistemas nebulosos é muito ampla, mais detalhes podem ser vistos em Pedrycz e Gomide [11] e em Klir [6].

### 6.3 Modelo Matemático Nebuloso

O nosso problema de alocação de médicos, consiste em encontrar uma solução que respeite todas as restrições do problema. Existem basicamente dois tipos de restrições: as que têm obrigatoriamente que serem respeitadas como, por exemplo, a demanda hospitalar, e outras que gostaríamos que fossem respeitadas como, por exemplo, as preferências pessoais de cada médico. Estas foram incorporadas na função objetivo em forma de penalizações. Logo, a nossa função objetivo é a soma das penalizações referentes a cada restrição.

Então, de forma simplista, o problema de alocação ficaria assim:

$$\text{Minimizar } z = a_1C_1 + a_2C_2 + a_3C_3 + \dots + a_nC_n$$

Sujeito a:

$$Ax = b$$

$$x \in \{0, 1\}$$

onde  $C_i$  é o número de vezes que a restrição  $i$  não foi respeitada e  $a_i$  é o peso dado à restrição  $i$ .

Dizemos que uma solução é factível quando ela respeita a demanda hospitalar, descrita matematicamente por  $Ax = b$ . Perceba que a igualdade se faz necessária, pois, não seria vantajoso para o hospital trabalhar com médicos além do limite, tanto por motivos financeiros, como também isto cria uma alteração desnecessária no ciclo circadiano do médico. E, é claro que uma sala de emergência não poderá funcionar normalmente com falta de médicos.

## 6.4 Decisão baseada em regras

Conforme nossas experiências anteriores, sabemos que se tivermos uma boa escolha dos pesos  $a_i$ , o tempo computacional total poderá ser reduzido. Sabemos também que a importância relativa de certa restrição pode mudar no decorrer do programa, de acordo com o valor de  $C_i$ .

Para uma melhor escolha dos pesos  $a_i$ , podemos utilizar uma decisão baseada em regras para alterá-los durante o decorrer do programa.

Sejam os  $C_i$ 's as variáveis de entrada pertencentes ao intervalo,  $[d_1, e_1]$  e  $s$  a variável de saída pertencente ao intervalo  $[d_2, e_2]$ , definimos então os seguintes estados lingüísticos<sup>1</sup> para ambos os intervalos, através dos quais determinaremos se os pesos  $a_i$  devem ser mais ou menos significativos. Se tivermos um valor de  $a_i$  grande, após um determinado número de iterações o valor de  $C_i$  tende a diminuir, pois se tratando de um problema de minimização, o próprio algoritmo irá diminuir o número de quebras nesta restrição, pois, com um peso grande, o algoritmo irá priorizar esta restrição, em detrimento das outras.

Para representar estes estados lingüísticos, usaremos funções de pertinência triangulares, definidas nos intervalos  $[0, +\infty]$  para as variáveis de entrada e  $[0, 15]$  para as variáveis de saída (veja Figura 6.1 e Figura 6.2), respectivamente.

Para um melhor efeito de comparação entre as diversas soluções encontradas, manteremos o somatório dos pesos  $a_i$  constante. Então, as modificações nos pesos deverão ser feitas, de modo a se alterar a porcentagem relativa entre eles, sem modificar a soma total. Foi proposto um método em que serão alterados dois pesos  $a_i$  de cada vez, um deles terá o seu valor aumentado e outro diminuído na mesma quantidade. Essa quantidade será obtida como saída principal do programa de decisão baseada em regras.

### 6.4.1 Determinação dos $a_i$ a serem alterados

Como serão alterados somente dois pesos de cada vez. A escolha mais lógica é aquela que considera a restrição menos satisfeita e a mais satisfeita, aonde a primeira terá o seu peso aumentado a segunda terá o seu peso diminuído pelo mesmo valor.

---

<sup>1</sup>O mesmo que variável lingüística, esta é uma variável que tem o seu valor como um número nebuloso, neste caso um estado lingüístico pode ser visto também como um conjunto nebuloso

### 6.4.2 Determinação do valor de alteração

Foram utilizadas as seguintes variáveis lingüísticas para os dados de entrada, de acordo com a quantidade de vezes em que as restrições foram desrespeitadas,  $C_i$ . No gráfico da Figura 6.1, temos as várias funções de pertinência referentes aos estados lingüísticos utilizados, onde no eixo  $x$  temos o valor da variável de entrada,  $C_i$ , e no eixo  $y$ , o valor da função de pertinência, sempre no intervalo  $[0, 1]$ .

- MP - Muito pouco desrespeitada (vermelho)
- PP - Pouco desrespeitada (azul)
- DD - Desrespeitada (amarelo)
- BD - Bastante desrespeitada (verde)
- MD - Muito desrespeitada (roxo)

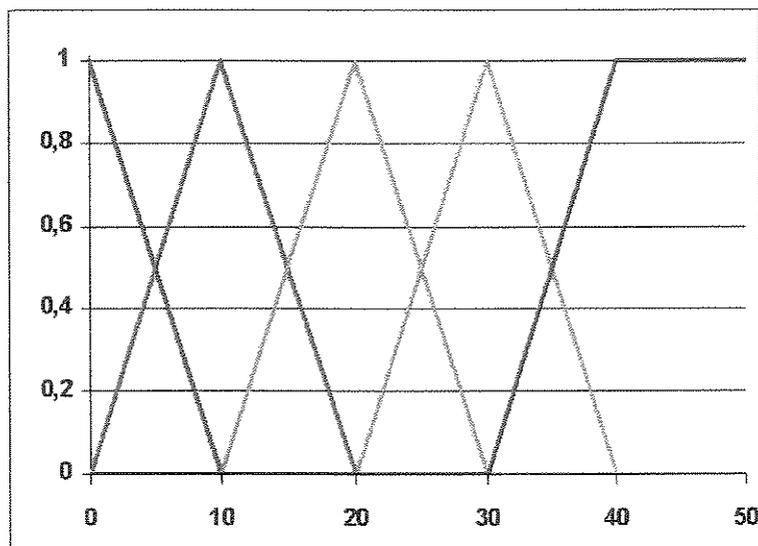


Figura 6.1: Intervalo das variáveis lingüísticas de entrada

Para os dados de saída, temos as seguintes variáveis lingüísticas (valor de alteração). No gráfico da Figura 6.2 temos as várias funções de pertinência

referentes aos estados lingüísticos utilizados para as variáveis de saída, onde no eixo  $x$  temos o valor da variável de saída,  $s$ , e no eixo  $y$ , o valor da função de pertinência.

- MP - Muito pequena (vermelho)
- PP - Pequena (azul)
- ME - Média (amarelo)
- GG - Grande (verde)
- MG - Muito grande (roxo)

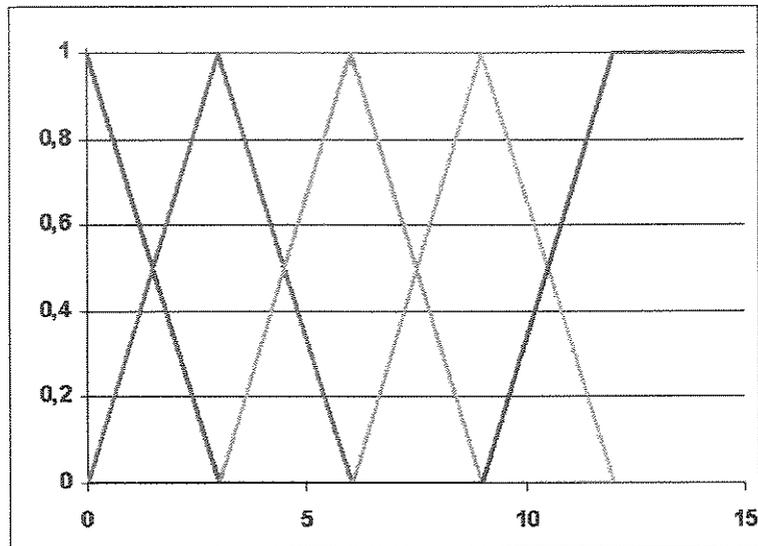


Figura 6.2: Intervalo das variáveis linguísticas de saída

As regras em que as alterações foram baseadas são as seguintes:

- Se a restrição foi MP  $\rightarrow$  Então faça uma alteração MP
- Se a restrição foi PP  $\rightarrow$  Então faça uma alteração PP
- Se a restrição foi DD  $\rightarrow$  Então faça uma alteração ME

- Se a restrição foi BD → Então faça uma alteração GG
- Se a restrição foi MD → Então faça uma alteração MG

Tendo isto em mãos é feita uma composição do tipo Sup-Min com a conjunção de Mamdani para se determinar o conjunto de saída. Na Figura 6.3, os eixos são os mesmos do gráfico da Figura 6.2.

$$C(z) = \max[\min[m_i; C_i(z), i = 1...N]], \forall z \in Z. \quad (6.1)$$

Como método de “defuzzificação”<sup>2</sup>, foi escolhido o método de centro de gravidade para o caso discreto, descrito pela equação abaixo,

$$D_{cg}(C) = \frac{\sum_{k=1}^n C(z_k) * z_k}{\sum_{k=1}^n C(z_k)} \quad (6.2)$$

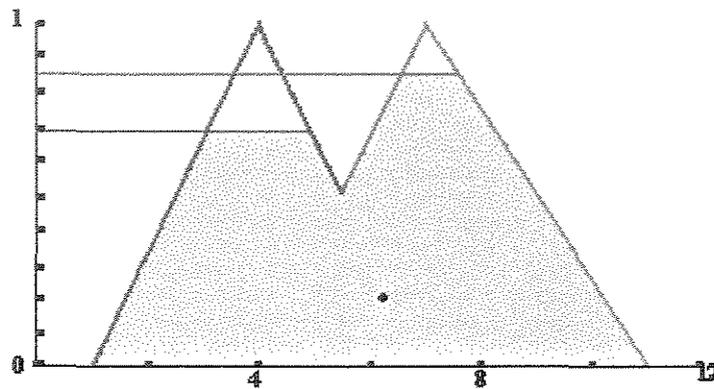


Figura 6.3: Conjunção de Mamdani e processo de “defuzzificação”

A quantidade a ser alterada em cada restrição é o mínimo entre a saída da equação do centro de gravidade para o caso discreto e o peso da restrição mais respeitada - 1, pois não queremos que nenhum peso atinja valores menores ou iguais a zero.

Foram feitos testes com um problema com cinco restrições penalizadas, três de contrato e duas de dias isolados.

Este problema pertence a uma classe de teste pequena, quanto ao número de restrições, com uma alocação para 47 médicos com um período de 13

<sup>2</sup>Transformar o conjunto nebuloso de saída em um número comum (crisp)

semanas e 4 tipos distintos de turnos. Para efeito de comparação entre as soluções “fuzzy” e a solução encontrada pelo algoritmo que utiliza pesos fixos, foi medido o tempo que o programa leva até chegar a uma solução ótima, bem como, o número de vezes em que a função objetivo foi calculada.

Foram feitos testes também para se determinar a melhor hora de se alterar os pesos. Para tanto foram alterados os pesos a cada geração (Resultado Fuzzy-1), a cada cinco gerações (Resultado Fuzzy-5) e a cada sete gerações (Resultado Fuzzy-7). Os resultados computacionais estão descritos na Seção 7.5.

## Capítulo 7

# Experiências Computacionais

### 7.1 Introdução

Neste capítulo, mostraremos todos os testes computacionais para o programa híbrido, sendo estes divididos em quatro seções distintas. Na Seção 7.2 são feitos testes com 4 classes de testes diferentes, classes estas que não são relativas a nenhum problema real, com estes teste queremos analisar a distribuição dos turnos pelo horário gerado pelo algoritmo híbrido. Nas Seções 7.3 e 7.4 faremos comparações entre os algoritmos: Híbrido, Busca Tabu e Algoritmo Genético para dois problemas: a alocação para o Hospital Judeu de Montreal, Seção 7.3, e um problema derivado do Hospital Judeu, Seção 7.4, aonde temos os médicos com aproximadamente o mesmo número de turnos, ambos são problemas com muitas restrições e suas soluções ótimas não são conhecidas. Na Seção 7.5 faremos uma discussão sobre como se ajustar os pesos para as restrições, utilizando a teoria de sistemas nebulosos para decisões baseadas em regras. Os resultados para esta parte serão relativos à classes de testes aonde são conhecidas as soluções ótimas, pois, podemos assim comparar os tempos que cada algoritmo, com e sem decisões baseadas em regras, atingem a solução ótima.

### 7.2 Testes Iniciais

Nesta seção descrevemos os testes feitos com o programa Híbrido para quatro classe de testes distintas. Estas não representam um problema real, são testes desenvolvidos somente para verificar a eficácia do algoritmo. Serão

considerados somente três tipos de turnos, **D** (diurno), **E** (vespertino) e **N** (noturno).

Todos os testes foram feitos na Zeus<sup>1</sup>, utilizando dez horas de tempo de CPU, com somente um processador.

Os resultados serão apresentados em forma de gráficos, onde o eixo x é o tempo decorrido em minutos e o eixo y é o score da solução os gráficos contém também duas curvas, a curva "Best" que representa o melhor resultado obtido até o momento, e a curva "15<sup>th</sup> Best" que é a décima quinta melhor solução encontrada, ou seja, a pior solução entre as soluções do conjunto *Best* descrito na seção 5.7. A solução ótima é atingida quando o score da solução chega a zero, ou seja, quando uma curva cruza o eixo x.

Também apresentaremos três tabelas, onde a primeira é a melhor solução encontrada, ou seja, a melhor alocação a segunda mostra as restrições de contrato, onde a primeira coluna é a identificação do médico, e as colunas posteriores contém dois números, o primeiro é a quantidade de turnos requisitado pelo médico, o segundo é a quantidade de turnos alocada para o médico, e finalmente na terceira tabela temos o score individual para cada médico.

### 7.2.1 Classe de teste 1

Nesta classe de teste temos 15 médicos e um período considerado de 3 semanas sem opção por férias ou dias livres. As restrições contratuais do problema estão resumidas na Tabela 7.2.

O melhor resultado foi obtido com 108 minutos de tempo de CPU, mas nota-se uma melhora contínua do conjunto de melhores soluções até o final do tempo de processamento. (veja o gráfico na Figura 7.1).

A Tabela 7.1 é a melhor solução encontrada nesta rodada com score igual a 53. Na Tabela 7.2 vemos que todas as restrições contratuais satisfeitas plenamente. O score individual para cada médico está na Tabela 7.3.

---

<sup>1</sup>Computador Enterprise 10000 da Sun, 64 processadores com 400MHZ cada, 64G de memória RAM, sistema operacional Sol2.7-5 pertencente ao RQCHP - Réseau Québécois de Calcul de Haute Performance

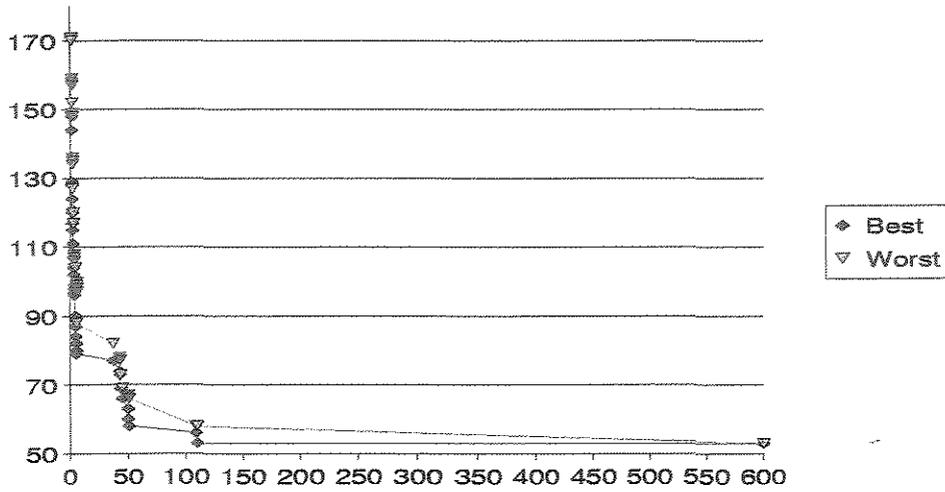


Figura 7.1: Classe de teste 1

	S	T	Q	Q	S	S	D	S	T	Q	Q	S	S	D	S	T	Q	Q	S	S	D
Med01	E	E	E	.	.	D	D	D	.	.	.	.	E	N	.	.	.	D	E	.	.
Med02	E	E	.	.	.	.	N	N	.	.	D	D	.	.	.	D	D	.	.	E	E
Med03	N	N	.	.	D	E	E	.	.	.	.	.	.	.	D	E	E	.	.	D	D
Med04	.	.	D	D	E	.	.	.	.	.	D	E	.	.	E	N	.	.	.	D	E
Med05	D	D	.	.	N	N	.	.	.	D	E	E	.	.	E	E	.	.	.	.	D
Med06	.	.	E	E	.	.	D	D	E	.	.	.	.	.	D	D	E	.	.	E	N
Med07	.	.	.	.	D	E	E	.	.	D	E	N	.	.	.	D	D	E	.	.	.
Med08	.	.	D	E	.	.	.	E	N	N	.	.	E	E	.	.	.	.	D	D	D
Med09	.	.	.	E	E	E	.	.	D	E	.	.	D	D	D	.	.	.	D	N	.
Med10	D	D	.	.	.	D	E	E	.	.	D	E	N	.	.	.	.	E	E	.	.
Med11	E	E	.	.	D	D	.	.	E	E	.	.	D	D	.	.	N	N	.	.	.
Med12	D	D	E	.	.	.	.	.	D	E	E	.	.	E	N	.	.	D	D	.	.
Med13	.	.	.	D	E	.	.	.	D	D	N	.	.	D	E	.	.	E	E	.	.
Med14	.	.	N	N	.	.	D	D	.	.	.	D	D	.	.	E	E	.	.	E	E
Med15	.	.	D	D	.	.	.	E	E	.	.	D	E	E	.	.	D	D	N	.	.

Tabela 7.1: Melhor solução

	D	E	N	Total
Med01	4/4	5/5	1/1	10/10
Med02	4/4	4/4	2/2	10/10
Med03	4/4	4/4	2/2	10/10
Med04	4/4	4/4	1/1	9/9
Med05	4/4	4/4	2/2	10/10
Med06	4/4	5/5	1/1	10/10
Med07	4/4	4/4	1/1	9/9
Med08	4/4	4/4	2/2	10/10
Med09	5/5	4/4	1/1	10/10
Med10	4/4	5/5	1/1	10/10
Med11	4/4	4/4	2/2	10/10
Med12	5/5	4/4	1/1	10/10
Med13	4/4	4/4	1/1	9/9
Med14	4/4	4/4	2/2	10/10
Med15	5/5	4/4	1/1	10/10

Tabela 7.2: Contrato (pedido/alocado)

Med	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
Score	4	2	2	4	7	2	4	4	4	4	2	4	4	2	4

Tabela 7.3: Score individual

### 7.2.2 Classe de teste 2

Nesta classe de testes temos 22 médicos com um horário para 9 semanas e sem férias ou dias livres, as restrições contratuais doo problema estão descritas na Tabela 7.5. Esta é a classe de teste mais cheia, ou seja, ela tem relativamente poucos dias livres. Como podemos observar na solução, temos médicos trabalhando 4.56 turnos de oito horas por semana, o que nos dá um total de mais de 36 horas de trabalho por semana.

O melhor resultado, de score 975, foi obtido aos 578 minutos de tempo de CPU. Como podemos observar o gráfico na Figura 7.2 a melhor solução continua a melhorar por quase todo o tempo de execução.

A Tabela 7.4 é a melhor solução encontrada nesta classe de testes, e o score para cada médico individualmente está apresentado na Tabela 7.6.

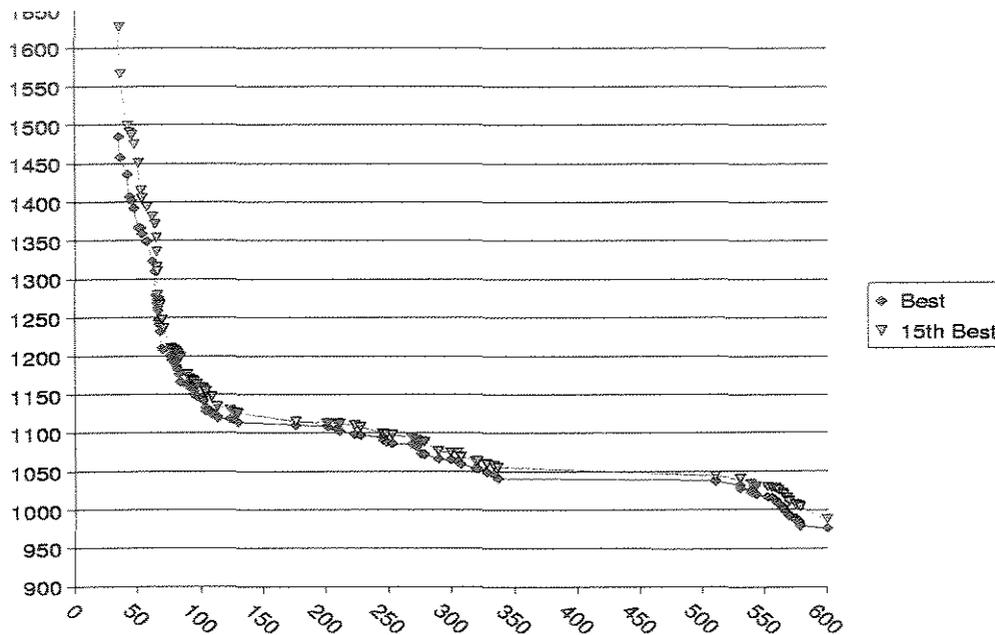


Figura 7.2: Classe de teste 2

	S T Q Q S S I	S T Q Q S S I	S T Q Q S S I	S T Q Q S S I	S T Q Q S S I	S T Q Q S S I	S T Q Q S S I	S T Q Q S S I	S T Q Q S S I
Med01	. D D D . N N	N . . D E . .	E E E . . D E	. N N . . D E	E . . D D E . .	. D D E E . .	D D D . E E E	. D E E . .	E D D . . E E E
Med02	D E E . . D I	E E . D D E .	E E E . . D E	. . D E . .	E D E . . . D I	. . D E . .	E E . . N N N	. . D N N .	E E E . D D E .
Med03	N N . . E E E	. . E E . .	D D D . D D .	N N N . E E E .	D D E . . D I	E . . D E .	D D E . D N . .	D D E . E E E	E . . D D . .
Med04	D . D D E . .	D E E . . D E	D . . N N N .	. D E . . D E	E . . E E . E	E . . D D E . .	. . D E E E .	D D D . . D N	N . E E . E E
Med05	. . . D D E .	D D D . D E E	. . E E . .	D D E . D D D .	D E E E . N N	N N N . . E E	. . E E E .	E E E E . D N N	. . D D D . .
Med06	E E E E . . .	N N N N . .	E E . . D E . .	D E N . D D I	. . D D E E . .	. D D E . .	D D E . . D D	. . D E E .	E E E . . D D I
Med07	. . E E E . .	D E E . D D E .	. D D E . .	D D D . . E	N N . D E E .	D E . N N N .	D D D . E E E	. . D E E .	E E E . . D E
Med08	D D . D D D .	. D D E . .	E D E . D D E .	E E E . D D E .	. . N N N . .	D D E . . D E . .	E E . . E E E .	N N N . .	D E E E . .
Med09	. D D D . D E	E . . D D D .	D D D . . E E	E . E E E . E	E . . N N N .	D E E . N N N .	. . D D E . .	E E . D D	D . . D E E
Med10	D D . . D D E	E . . . D D E	. D E . . E E	E . . N N N .	E E E . . D E	E . D D D . .	D D E . . N N	. D D D . D E	. . E E E . .
Med11	N N N . . N N	. . . D E E . .	D D E . D D	D . . D D D .	D D D . D E E	. D E E E . E	E E . . D E E	N . . . .	E D E . E E E .
Med12	. . . . D D U	. D E E . D I	E E . . D E E	. D D D . . E	E E E . . D D .	. E E . E E . .	. D D E . D D	E . . E E . .	D N N N N N N
Med13	E E E . D E .	. E E E . .	N . . E N N .	D D E . . . N N	. . D E E . D	E E . . D D E .	D D D . . .	D E E . D D E .	. D D E . D I
Med14	E . N N N .	. D D D . .	E E E E . D D E .	. . D D D . .	. . E E E . D	D E . . D D I	E . E E E . .	N N N . D E .	. D E . . D E
Med15	E E E E . .	. E E . D E .	D D E . . D D E	. D D E . .	D D D . . . N	. . D D E .	N N N N . D E	E E . D D D E	. . E E E . .
Med16	D D D D . E E	E . D E E . .	D N N . D D E	E . . D E E . .	. D E E . E E	. . N N . . N	N D . . . .	D E . . E E E .	D D D . . D I
Med17	. . D N N .	. E E . . D D I	E . . D E E . .	. D E E E . N	N N N . D D E	E . E E E E .	E E E . D D D .	. . D D D . .	. . D D D . .
Med18	E E . . E E E	. D E . E E E	. N N . . D E	. . E N N .	E D E . D D D .	. D D E . . E	E E . D D D .	. N N . . D E	E . D D E . D
Med19	. . D E E . .	D D D E . .	N . . D E E .	D D D D . . E E	E . D D E . .	E E E . E E E .	. . D D D . .	D D E . . .	D E . N N N N
Med20	D D E E . .	. D . . N N N .	. D E E . N N	. . E E E . .	. D D . . E E	. D D D . D I	D . E E E .	E E E . D D E .	. . D D . . E
Med21	. . . E E E .	. . N N . N N .	. D D E E . .	E E E . D E E	. D D D D .	D N N . . D I	E . . D D E .	D D D E . .	E E E . . D E E
Med22	E E . . D D E	. . D D E E .	. . D E E . .	E E . D E E .	. E E E . .	D . . D D D .	. . N N N . D I	D E . D E E .	N N N . . D D

Tabela 7.4: Melhor solução

	D	E	N	Total
Med01	17/17	18/18	5/5	40/40
Med02	17/17	17/17	5/5	39/39
Med03	17/17	17/17	6/6	40/40
Med04	17/17	17/17	5/5	39/39
Med05	17/17	17/17	6/6	40/40
Med06	17/17	17/17	5/5	39/39
Med07	17/17	18/18	5/5	40/40
Med08	17/17	17/17	6/6	40/40
Med09	17/17	17/17	6/6	40/40
Med10	17/17	17/17	5/5	39/39
Med11	17/17	17/17	6/6	40/40
Med12	17/17	17/17	6/6	40/40
Med13	17/17	18/18	6/6	41/41
Med14	17/17	17/17	6/6	40/40
Med15	18/18	17/17	6/6	41/41
Med16	17/17	17/17	6/6	40/40
Med17	18/18	17/17	6/6	41/41
Med18	17/17	18/18	6/6	41/41
Med19	18/18	17/17	6/6	41/41
Med20	17/17	17/17	6/6	40/40
Med21	18/18	17/17	6/6	41/41
Med22	17/17	17/17	6/6	40/40

Tabela 7.5: Contrato (pedido/alocado)

Med	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Score	29	31	48	41	56	31	41	34	39	34	48	52	48	54	54	48	61	53	42	44	53	34

Tabela 7.6: Score individual

### 7.2.3 Classe de teste 3

Esta classe de testes é constituída por 24 médicos e horizonte de 9 semanas, sem férias. Os dados contratuais estão na Tabela 7.8. Podemos observar que a distribuição de turnos aqui é mais heterogênea (veja Tabela 7.8), pois, alguns trabalham 2.11 turnos de 8 horas por semana com um total de 29 turnos no horizonte e outros 4.78 turnos por semana, com um total de 43 turnos no horizonte de planejamento.

O melhor resultado, de score 675, foi obtido aos 500 minutos de tempo de CPU. Observando o gráfico na Figura 7.3, vemos que não temos melhorias nas últimas 2 horas de processamento. Vemos também que a décima quinta melhor solução é continuamente melhorada até quase o final do tempo de processamento.

A Tabela 7.7 é o melhor horário encontrado, e podemos ver também nesta tabela que todas as especificações de contrato foram atendidas plenamente na Tabela 7.9 temos o score de cada médico.

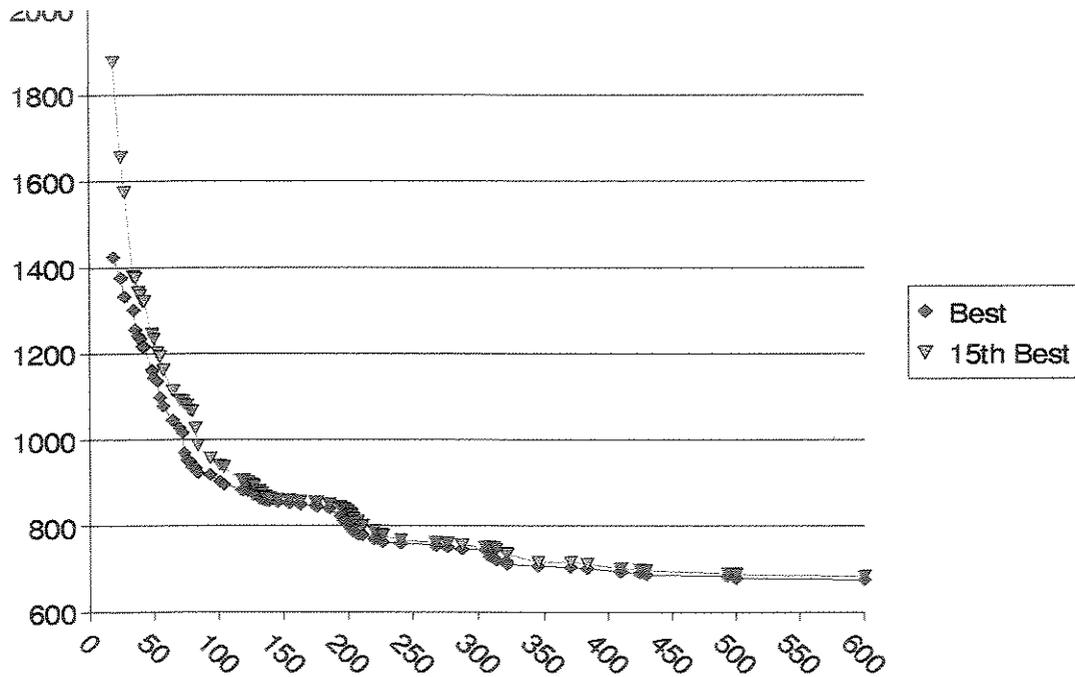


Figura 7.3: Classe de teste 3

	S T Q Q S S I	S T Q Q S S E I	S T Q Q S S E I	S T Q Q S S I	S T Q Q S S I	S T Q Q S S I	S T Q Q S S E I	S T Q Q S S E I	S T Q Q S S I	S T Q Q S S E I
Med01	. . E E . . E	E . N N . . E E E . . E E E	. D E E . . E E E . N N N .	D D D . . D I . . N N N . .	N N N . . N N N . D D D .	E E E . . .				
Med02	D D D . . .	N N N . . E E E . . N N N . .	. E E N . . E E . . D D . .	. . D D E . . . . D E E . .	D D . . N N . .	E E . . N N				
Med03	D D . D E E .	D D D . . D I D . . D D . I	D . . D E . . E E E . . D .	. D E . . D I E . . . . E . .	. D E E . . E E . . D E E .	E E . . D E E				
Med04	N N N . D D E	. . D D . . I D D D . D D I	. D D D . D I E . . E E E .	. D D D E . . D D N . . D I	E . D D D . I D D D .	D E E				
Med05	. . E E E N .	D E E E . D E E . . E E E .	. E N N N . . D E . . D D E	. E E E E . E E E . D D E .	. D E E . . . N N N . D D D					
Med06	. D D E . . D	E . D D D . . E E E . . D	D E E E . D E E . . E E E . E	E E . D D D . . E E E E . I	D D . . E F E . . . D D E					
Med07	E E E . . .	I E E . . D D E . . D D D . .	. . E E E . E E E E . . D I	D D D . . D D I . . D D D . .	D D E . D E E . E . . D D D .					
Med08	E . . E E . .	D D . . D E E . . D E . . D D	E . . D D E . . D D D . . I	D E . D E E . . D D D . . D E	E . D E . D E E . . . D D D					
Med09	E E E . . D E	E . . D E E . . D D E . D D	D . . . . E E . . D D E . .	. D D D . E E E . . E E E .	E E E . . I D . . D E E E					
Med10	. . . D D D .	D D E . . D E . . D D D . .	D E . . D E F . . D D D . .	E E E . E E E . . D D D . .	I D . . D E E . . D D E . .					
Med11	D D D D . E E	. D D E . . E D D . D E E .	. D E E E . . D D . . D E E .	. . . . N N . E E E . . D E	. . N N N . E D E . . . D E					
Med12	N N . E E E E	. . N N N N . . D D . . D E	E . . . . D I D . . D D E .	D D E . . N N . . D D D E .	. D D D . . . D D D . . .					
Med13	. . . D E . .	. . . . E E E . . E E E . .	. . D D . . . E E . . D N N .	. N N . . E N N . . E E . . .	. . D E E . . D E . . N N					
Med14	D D . . D E . .	E . . D D . . . . . N N .	. D D . . N N . . E E . .	N N . . D I . . E E E . .	E E E . . D E E . E E E . .					
Med15	E E E . . .	I D D . . . E E E . . D E . .	E E . . D E . . D D E . .	I D . E E . . E E E . . D E	. . . D D . . E E E . D I					
Med16	D E . . D D I	. D D D D . . D E . . E E E .	. D E E . . D D D . . D I	E . . . D D . . D D D . E E	E . . . D D . . D D D . E E					
Med17	E E E E . .	I D E . E E . . E E E E . .	I E E . . E E . . D D D . D I	E . . D D E . . D D E E . .	D E E . . D E E . . E E E . .					
Med18	D D . . D D . .	. . E E E . . E E E . . D E	E . . E E . . N N N . . E	E . . . D E . . E E E . .	I D E . . E N N . D D D . . .					
Med19	. . N N . D E	E . . D D E . . N N N N . .	D D E . D D I . . . . D E . .	E E E . . E E . . N N N . .	E E N . . E E . . D E E .					
Med20	. . . . N N N	. . E E . . . D E E . . E F	E . . D N N . . N N . E E E	. . D E . . . D E E . .	N N N . . D D . . . D E E . .					
Med21	. . D D E E .	. E E E . . N . D E . .	N N N N . . D I D . . E E . .	E E E . . I D D . . D D .	D D E . . D I D . D D E . .					
Med22	. . D D . .	I E . D D E . N N N . D D E	. D D E . D E D . E E . D I	D . D E E . I D . . D D N N	. . D E . . I D . N N N . .					
Med23	E E . . D E . .	. E E . . D I D . . D D N .	D D D . . N N . E E E . .	N N . . N N . N N N . .	D D I . . D E . . N N N . N N . .					
Med24	. . D N N . .	N N . . N N . . D E E . .	N N . . D D I . . E N N . .	N N . . D E E . . E E . E	E E . D E E . . E E E . .					

Tabela 7.7: Melhor solução

	D	E	N	Total
Med01	10/10	17/17	11/11	38/38
Med02	10/10	12/12	11/11	33/33
Med03	20/20	15/15	0/0	35/35
Med04	30/30	9/9	4/4	43/43
Med05	12/12	23/23	7/7	42/42
Med06	17/17	23/23	0/0	40/40
Med07	22/22	17/17	0/0	39/39
Med08	23/23	16/16	0/0	39/39
Med09	15/15	23/23	0/0	38/38
Med10	23/23	14/14	0/0	37/37
Med11	19/19	15/15	5/5	39/39
Med12	19/19	9/9	8/8	36/36
Med13	6/6	15/15	8/8	29/29
Med14	10/10	15/15	6/6	31/31
Med15	14/14	20/20	0/0	34/34
Med16	25/25	13/13	0/0	38/38
Med17	13/13	27/27	0/0	40/40
Med18	11/11	18/18	5/5	34/34
Med19	10/10	16/16	10/10	36/36
Med20	7/7	15/15	10/10	32/32
Med21	19/19	13/13	6/6	38/38
Med22	23/23	9/9	8/8	40/40
Med23	13/13	9/9	15/15	37/37
Med24	7/7	15/15	12/12	34/34

Tabela 7.8: Contrato (pedido/alocado)

Med	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Score	38	10	25	46	60	35	25	30	20	20	39	31	10	16	10	20	30	11	25	15	39	58	36	26

Tabela 7.9: Score individual

#### 7.2.4 Classe de teste 4

Nesta última classe de testes temos 31 médicos com 9 semanas. Os dados contratuais estão na Tabela 7.11. A carga horária dos médicos aqui é distribuída entre 1.33 a 3.78 turnos de 8 horas por semana. Na Tabela 7.10 temos a melhor solução encontrada durante todo o tempo de processamento, e na Tabela 7.12 temos o score de cada médico.

Obtivemos o melhor resultado, de score 365, aos 583 minutos de tempo de CPU, como observa-se no gráfico da Figura 7.4.

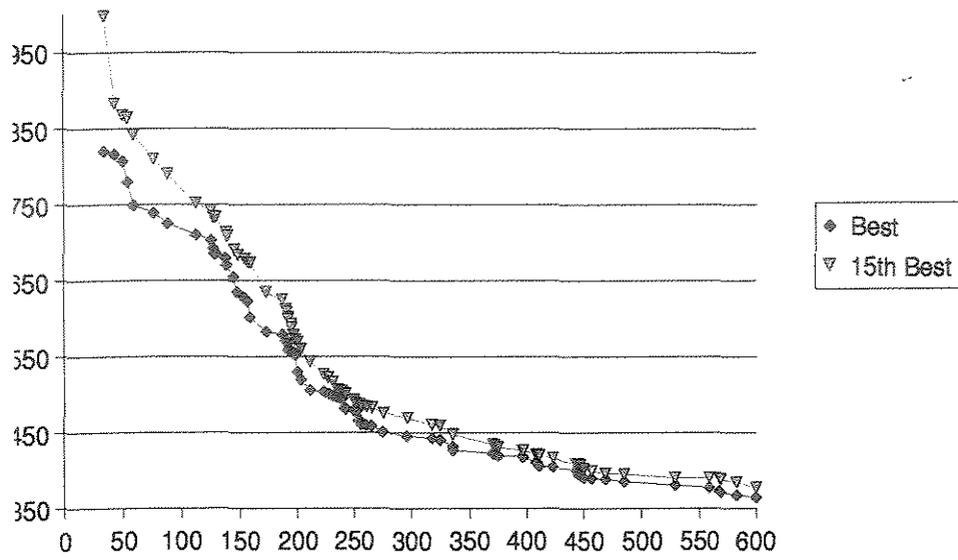


Figura 7.4: Classe de teste 4

	S T Q Q S S I	S T Q Q S S I	S T Q Q S S I	S T Q Q S S I	S T Q Q S S I	S T Q Q S S I	S T Q Q S S I	S T Q Q S S I	S T Q Q S S I	S T Q Q S S I
Med01	. . . . .	. . . . .	. . . . . N	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .
Med02	. . . . .	. . . . . D I	. . . . . E N N	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .
Med03	E D D . . . .	. . . . . E E	. . . . . D E	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .
Med04	. . . . . E E	. . . . . E E	. . . . . E E E	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .
Med05	. . . . .	. . . . . D E	. . . . . D E	. . . . . E	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .
Med06	. . . . . E E	. . . . . D D E	. . . . . N N N	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .
Med07	. . . . .	. . . . .	. . . . . E E E	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .
Med08	. . . . . D E E	. . . . .	. . . . . N N N	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .
Med09	E . . . . N N N	. . . . . D E	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .
Med10	D E E . . . .	. . . . . E E	. . . . . D . . . . D	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .
Med11	. . . . .	. . . . . D D D . . . D E	. . . . . D D D . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .
Med12	D D . . . . .	. . . . . D D . . . D	. . . . . D D . . . D D	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .
Med13	. . . . . D D D	. . . . .	. . . . . D D E . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .
Med14	D D D . . . E E	. . . . . D D D	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .
Med15	N N N . . . .	. . . . . D D E . . . .	. . . . . E E E . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .
Med16	. . . . . D D D D	. . . . . N N . . . .	. . . . . D D . . . . D E	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .
Med17	D . . . . D D D	. . . . . D D E . . . .	. . . . . D E . . . . D E	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .
Med18	D D D . . . .	. . . . . D D D . . . .	. . . . . N . . . . D E	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .
Med19	. . . . . D D	. . . . . E E E . . . .	. . . . . D D . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .
Med20	. . . . . D D D	. . . . . N N . . . . D E E	. . . . . E E . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .
Med21	D D . . . . .	. . . . . E E E . . . N N N	. . . . . D E E . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .
Med22	. . . . . D I	. . . . . D . . . D E . . . .	. . . . . D D E . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .
Med23	. . . . . D D E	. . . . . E N N . . . N N	. . . . . D D . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .
Med24	. . . . . E E . . . D I	. . . . .	. . . . . D D D . . . E	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .
Med25	E E E E . . . E	. . . . . D N N . . . .	. . . . . D D . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .
Med26	N . . . . N N	. . . . . D E . . . D D E	. . . . . D I . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .
Med27	. . . . . D D E . . . I	. . . . . E . . . D D . . . .	. . . . . D D E . . . I	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .
Med28	E E . . . . N N	. . . . . D D D . . . D N	. . . . . D E . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .
Med29	. . . . . N N N . . . D	. . . . . D D . . . .	. . . . . E E E . . . D D	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .
Med30	. . . . . D D . . . E	. . . . . N N . . . D E	. . . . . D E E . . . N N N N	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .
Med31	. . . . . E E E . . .	. . . . . D E . . . D E	. . . . . N N N . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .

Tabela 7.10: Melhor solução

	D	E	N	Total
Med01	0/0	9/9	3/3	12/12
Med02	4/4	7/7	3/3	14/14
Med03	4/4	8/8	3/3	15/15
Med04	0/0	12/12	3/3	15/15
Med05	4/4	9/9	3/3	16/16
Med06	4/4	10/10	3/3	17/17
Med07	4/4	10/10	3/3	17/17
Med08	4/4	10/10	3/3	17/17
Med09	4/4	11/11	3/3	18/18
Med10	4/4	11/11	3/3	18/18
Med11	20/20	0/0	2/2	22/22
Med12	20/20	0/0	2/2	22/22
Med13	20/20	1/1	2/2	23/23
Med14	20/20	3/3	2/2	25/25
Med15	11/11	8/8	7/7	26/26
Med16	21/21	3/3	2/2	26/26
Med17	20/20	4/4	2/2	26/26
Med18	22/22	2/2	2/2	26/26
Med19	20/20	5/5	2/2	27/27
Med20	20/20	7/7	2/2	29/29
Med21	10/10	13/13	6/6	29/29
Med22	20/20	7/7	2/2	29/29
Med23	12/12	10/10	8/8	30/30
Med24	12/12	10/10	8/8	30/30
Med25	12/12	10/10	8/8	30/30
Med26	15/15	10/10	7/7	32/32
Med27	20/20	10/10	2/2	32/32
Med28	14/14	13/13	6/6	33/33
Med29	12/12	13/13	8/8	33/33
Med30	12/12	13/13	8/8	33/33
Med31	13/13	13/13	8/8	34/34

Tabela 7.11: Contrato (pedido/alocado)

Phy	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
	9	11	10	7	11	2	12	2	12	14	2	7	4	2	16	12	12	16	12	7	4	11	19	19	22	17	14	23	16	25	15

Tabela 7.12: Score individual

Nas duas seções seguintes apresentaremos os resultados computacionais do programa híbrido, da Busca Tabu e dos Algoritmos Genéticos, para o problema do Hospital Judeu de Montreal e para um problema derivado, que tem a quantidade de turnos para cada médico muito parecida. Com isto queremos verificar a eficácia do algoritmo para problemas de alocação onde temos as preferências individuais muito parecidas.

O problema do Hospital Judeu é um problema de alocação descrito em detalhes em Buzon e LaPierre [1], com 24 médicos, e cada um deles com diferentes opções de turnos, férias, finais de semana e grupos de turnos, onde procura-se alterar o mínimo possível o ciclo circadiano dos médicos envolvidos na alocação, e respeitar o máximo possível as preferências pessoais. Matematicamente, este problema tem 32760 variáveis binárias, e mais de 211000 restrições.

Os resultados serão apresentados em forma de gráficos comparativos, onde teremos três tipos de saídas: resultados obtidos pelo Algoritmo Híbrido, Busca Tabu e pelo Algoritmo Genético. O eixo x de cada gráfico é o tempo dado em minutos, e o eixo y é o melhor resultado obtido até o momento. Todos os testes tiveram 15 horas (900 minutos) de tempo de CPU, utilizando um computador *Ultra - 5/400*, com 128M de RAM e sistema operacional Sol2.8-07 pertencente ao CRT - "Centre de Recherche sur les Transports", Montreal - Quebec, Canadá.

### **7.3 Problema do Hospital Judeu de Montreal**

- Busca Tabu - BT

Utilizamos para os testes a Busca Tabu implementada em Buzon e LaPierre[1], nesta temos uma vizinhança que não é utilizada no algoritmo híbrido, pois neste se prioriza a rapidez na Busca Tabu e não queremos uma busca muito aprofundada, o que ficaria fora das características do algoritmo híbrido.

No gráfico da Figura 7.5 vemos que a Busca Tabu é muito eficiente, atingindo um score muito bom rapidamente, por volta dos 50 minutos. No entanto, após atingir este ponto ela fica sem melhoria por mais de 400 minutos, e isto poderia causar a parada prematura do algoritmo.

- Algoritmo Genético - AG

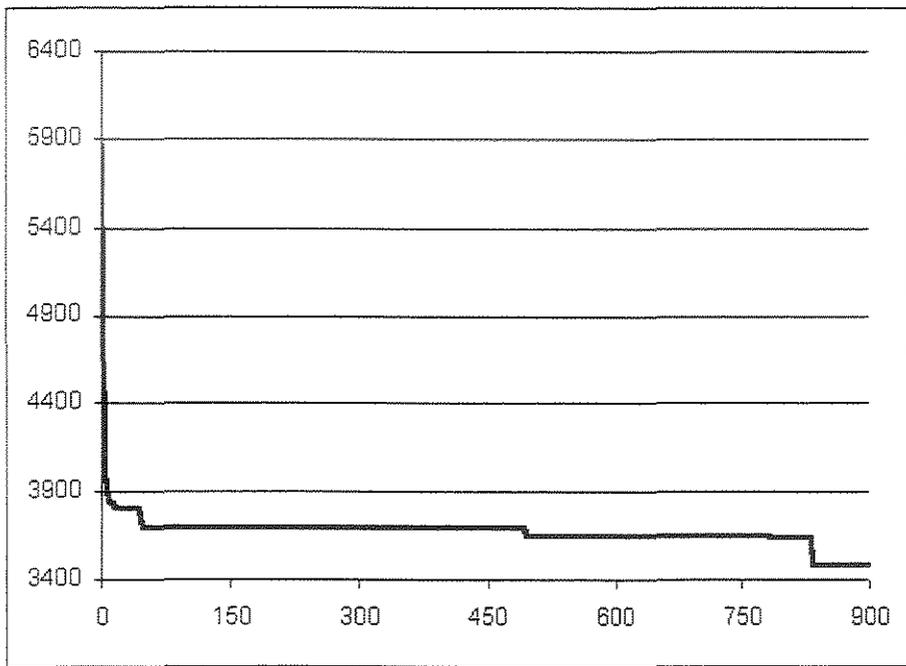


Figura 7.5: Busca Tabu

No gráfico da Figura 7.6, cada linha é o melhor resultado para a população especificada (15,30,50,100,150 indivíduos) até o momento. Este AG ao contrário do implementado no Algoritmo Híbrido tem um procedimento de mutação, este consiste na simples troca de dois turnos escolhidos aleatoriamente na mesma coluna, com probabilidade Xover de 25% e probabilidade de mutação de 3%. Vemos que o Algoritmo Genético puro, é muito ineficiente se comparado com a Busca Tabu da Figura 7.5. No entanto, ele é um bom algoritmo de diversificação, pois considera diversas soluções. Verifica-se também que, se utilizarmos populações muito pequenas, o algoritmo fica estagnado logo no início. Isto se deve a falta de variabilidade da população inicial.

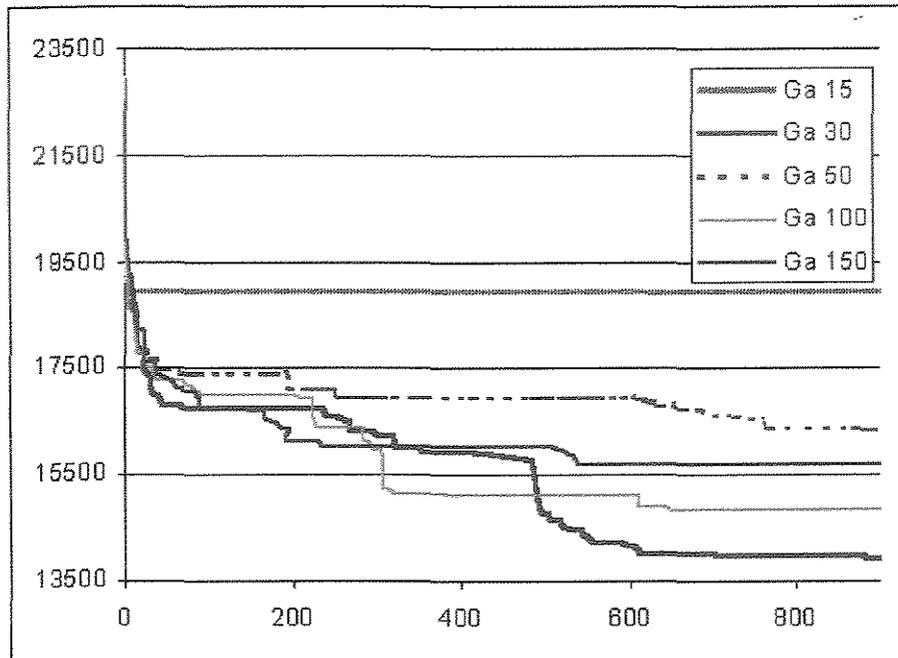


Figura 7.6: Algoritmo Genético

- Híbrido: Busca Tabu + Algoritmo Genético

No Algoritmo Híbrido descrito na seção 1.3, temos a combinação da eficiência da Busca Tabu com a diversidade do Algoritmo Genético, o

que nos fornece um resultado muito bom. No gráfico da Figura 7.7 vemos que as diversas classes de testes do Algoritmo Híbrido, com populações de 15, 30, 50, 100 e 150 indivíduos, atingem resultados muito bons, e que as populações pequenas não decaem mais rapidamente do que as maiores, pois, as alterações feitas pela BT logo se espalham pela população, gerando assim uma geração mais compacta e com melhores valores da função objetivo.

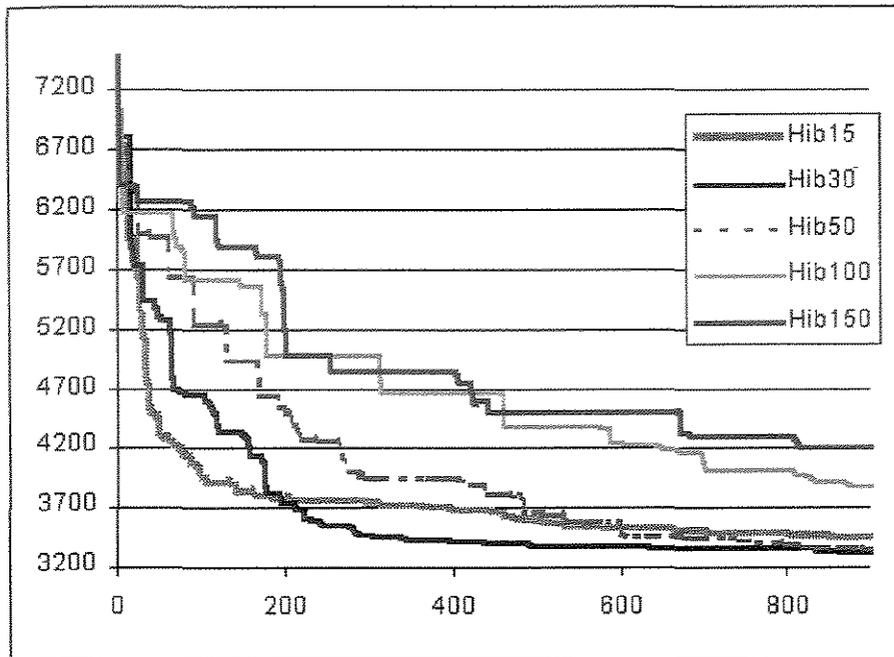


Figura 7.7: Híbrido - AG + BT

No gráfico da Figura 7.8 temos a comparação entre os métodos BT e algoritmo Híbrido. Foram graficados os dois melhores resultados para o Algoritmo Híbrido e a BT. Nele, podemos verificar a eficácia da BT, no entanto, observamos também que aos 50 minutos de tempo de CPU, a BT fica estagnada, enquanto que o algoritmo Híbrido continua a decair e, aos 300 minutos aproximadamente, a classe de testes Hib30 supera o melhor resultado obtido pela BT em todo o tempo de processamento. Verifica-se também que o

método Híbrido termina o tempo de processamento com resultados melhores do que o atingido pela BT.

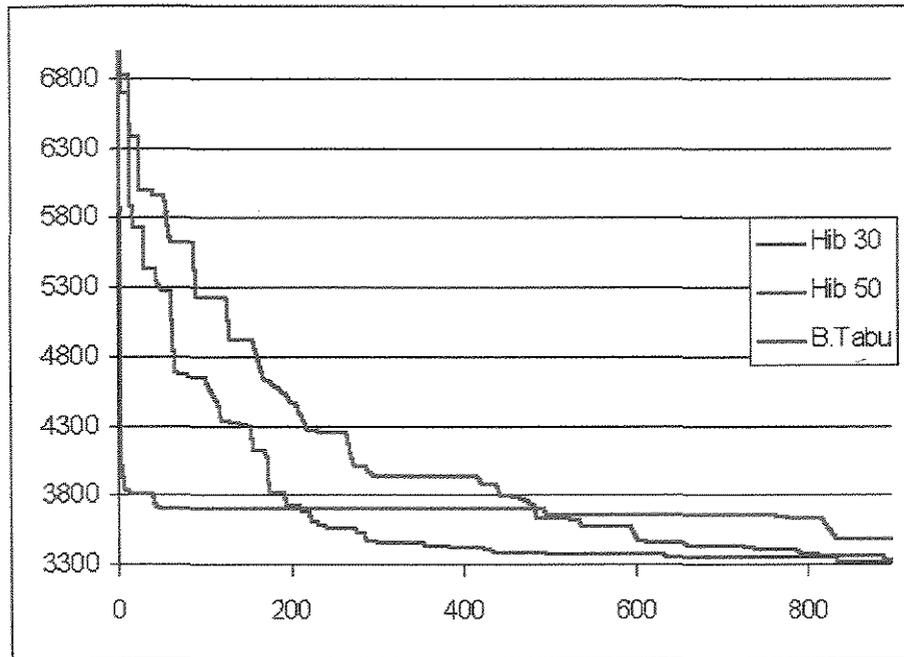


Figura 7.8: Comparação entre os métodos

## 7.4 Problema derivado do Hospital Judeu

- Busca Tabu - BT

No gráfico da Figura 7.9 vemos que a Busca Tabu é bastante eficiente, atinge um score baixo rapidamente, por volta dos 30 minutos, mas, no entanto, fica estagnada sem uma mudança significativa por muito tempo, novamente isto poderia causar a parada prematura do algoritmo, dependendo dos critérios de parada utilizados.

- Algoritmo Genético - AG

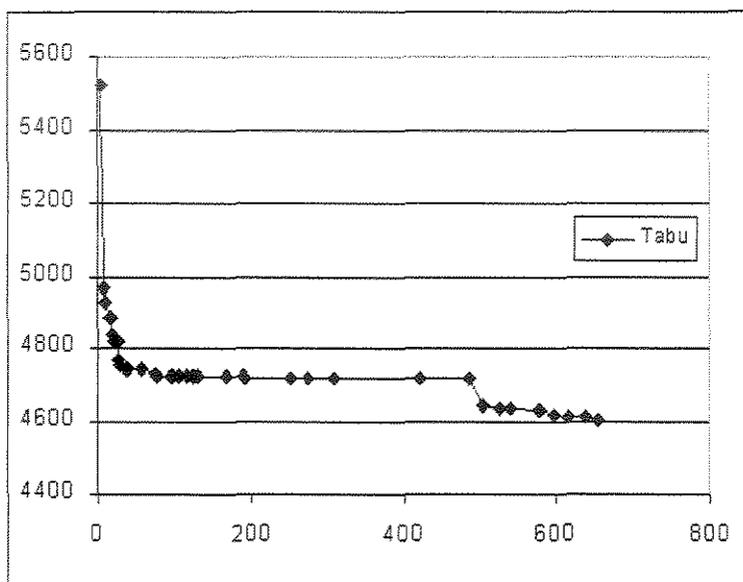


Figura 7.9: Busca Tabu

No gráfico da Figura 7.10, cada linha é o melhor resultado para a população especificada (15,30,50,100,150 indivíduos) até o momento. Vemos que o Algoritmo Genético puro é muito ineficiente se comparado com a Busca Tabu da Figura 7.9.

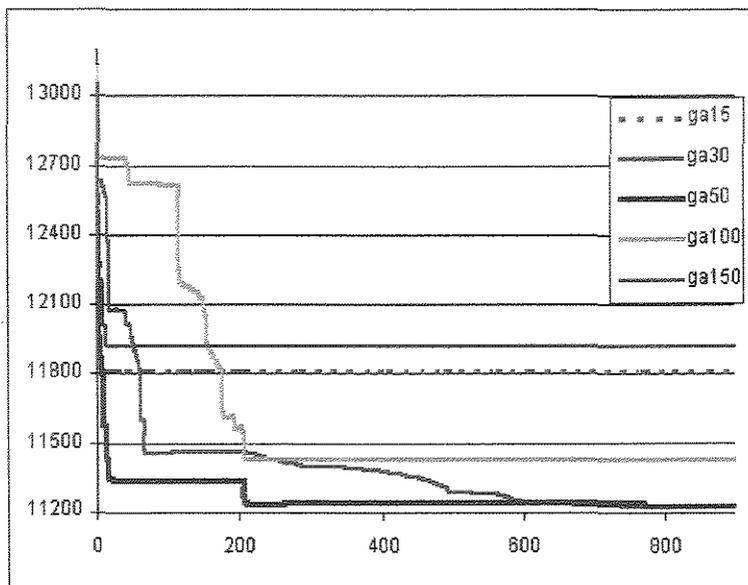


Figura 7.10: Algoritmo Genético

- Híbrido: Busca Tabu + Algoritmo Genético

No gráfico da Figura 7.12 temos a comparação entre os métodos BT, algoritmo Híbrido e AG. Foram graficados os dois melhores resultados para o Algoritmo Híbrido, a BT e os dois melhores resultados para o AG. Nele, podemos verificar novamente a eficácia da BT no início da busca, e também a sua estagnação aos 30 minutos de CPU, enquanto que o algoritmo Híbrido continua a decair até o final do tempo de processamento. Verifica-se também que o método Híbrido termina o tempo de processamento com resultados muito melhores do que o atingido pela BT: enquanto o primeiro fica perto dos 2000 pontos, o segundo fica acima dos 4000 pontos. Fica clara a ineficácia dos Algoritmo Genético se comparado aos dois outros métodos. No entanto, como

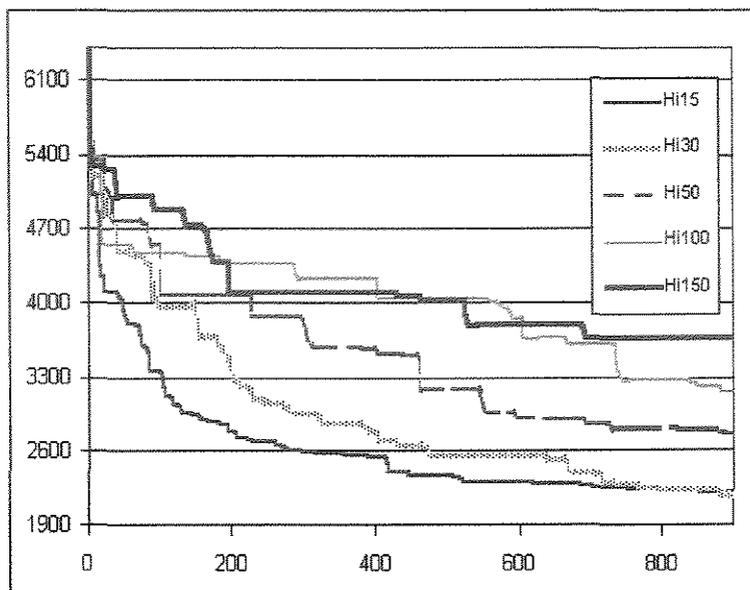


Figura 7.11: Híbrido

já foi verificado, ele possui uma importante característica que é a diversidade de soluções.

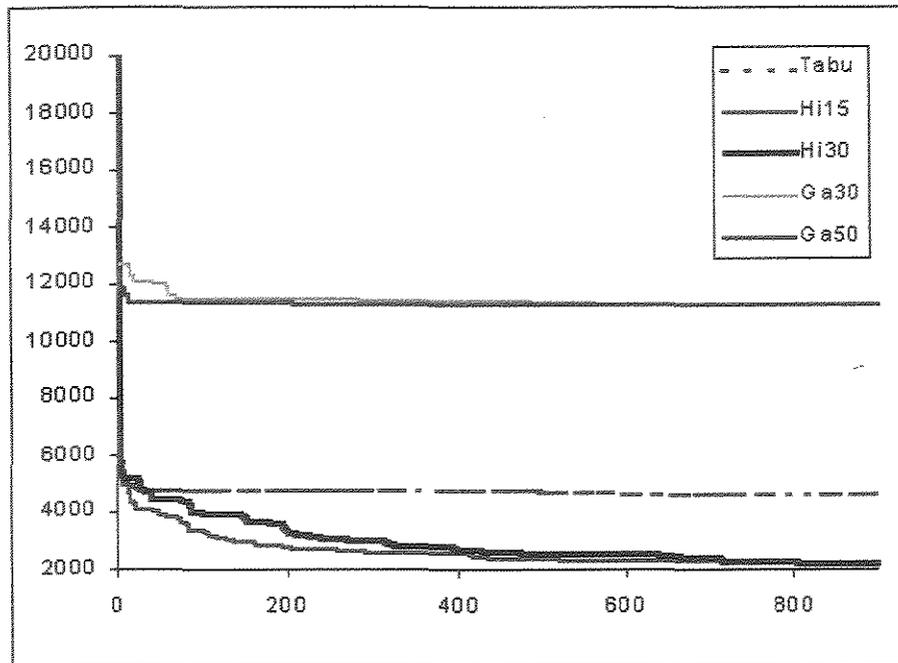


Figura 7.12: Comparação entre os métodos

## 7.5 Decisão baseadas em regras

### 7.5.1 Introdução

Como um sub-problema da alocação, temos a determinação dos pesos de cada restrição. O conjunto de pesos é de suma importância para a determinação de um bom horário, pois é nele que são mostradas as importâncias relativas entre as restrições, ou seja, que restrição terá prioridade em relação à outra. Como sabemos, essa importância relativa muda no decorrer do programa. Assim, utilizamos a teoria de conjuntos nebulosos para determinarmos a alteração nos pesos que exprime essa mudança.

## 7.5.2 Resultados

Como podemos observar no gráfico da Figura 7.13, o teste que não contém as alterações baseadas em regras, linha verde (NoFuzzy), tem um decaimento inicial mais rápido seguido de um grande período quase sem alteração na melhor solução (entre aproximadamente 600 e 900 segundos), isto pode ser devido ao fato de que, com os pesos fixos, ele dê prioridade a determinada restrição e faça esta cair rapidamente. Já nos Algoritmos Fuzzy 1 à Fuzzy 7, observamos um decaimento inicial mais vagaroso; no entanto, não existem períodos longos sem alteração na melhor solução, ou seja, é um decaimento mais constante. Podemos observar pela Tabela 7.13 que houve uma melhora entre 23,2% e 37% no tempo computacional em relação à versão sem as restrições baseadas em regras fuzzy. Observa-se também que o número de vezes em que a função objetivo é avaliada diminui bastante.

	Fuzzy 1	Fuzzy 5	Fuzzy 7	No Fuzzy
Tempo	00:19:50	00:17:50	00:18:09	00:24:26
Avaliações da FO	10968025	9843953	10043335	13373817
Melhoria (seg.)	23,2%	37,0%	34,6%	—

Tabela 7.13: Comparação entre os resultados

## 7.6 Conclusões

Como podemos observar, nenhuma das classes de testes iniciais acima atingiu o ótimo, ou seja, uma solução com score zero, mas o decréscimo da função é contínuo até o final do tempo de processamento. Isto nos leva a crer que, se tivermos um tempo de processamento maior, encontraremos soluções melhores. É preciso analisar o custo benefício entre continuar a rodar o programa até a exaustão e termos uma solução razoavelmente boa em poucas horas.

Observando os horários, vemos que eles são muito bem distribuídos por todo o período considerado, não existindo grandes blocos de turnos livres, nem de trabalho, isto é um indicador de que o programa está conseguindo soluções boas do ponto de vista da distribuição. Devemos observar também que todas as restrições de contrato foram plenamente satisfeitas, não ficando assim um único médico com mais turnos do que o desejado.

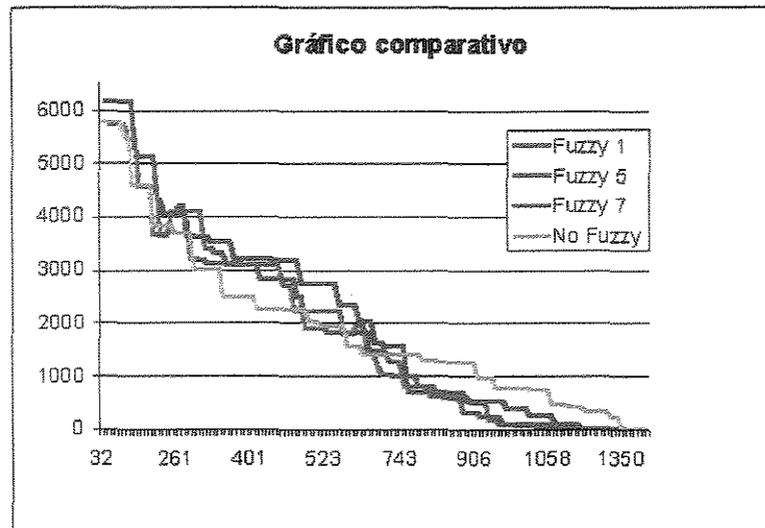


Figura 7.13: Score da melhor solução por tempo (segundos)

Verifica-se também que o tamanho do problema não é o único fator que determina, o grau de dificuldade de se resolvê-lo, pois como podemos notar na Classe de testes 1, uma classe de problemas pequenos, não atingiu o ótimo, e talvez a solução ótima não exista. Mas o fato é que a classe de testes citada é de difícil resolução, pois, existem poucos turnos livres, ou seja, a quantidade de turnos a serem alocados em relação ao número de médicos vezes dias, é muito alta. Podemos dizer que a densidade de turnos no horário é alta. Este fato é fundamental, pois através dele e do tamanho do problema, podemos dizer se algum horário é de difícil resolução.

Nas comparações entre os métodos, podemos dizer que o Algoritmo Híbrido foi melhor do que os outros dois, pois, este o problema do Hospital Judeu de Montreal, se for resolvido à mão, por uma pessoa experiente, levaria aproximadamente 8 semanas (1344 horas) de trabalho. Assim o tempo de processamento de 15 horas se torna até pequeno.

A implementação do controlador baseado em regras forneceu resultados muito bons, melhorando o tempo de processamento em até 37%, e também uma diminuição significativa do número de vezes que a função objetivo é avaliada em relação a versão sem o controlador "Fuzzy". Pode-se dizer que o controlador fez com que o algoritmo se adequasse ao problema, no sentido de que os pesos das restrições são alterados durante a execução do programa.

Para trabalhos futuros nesta área, ficam as implementações em modelos com mais restrições e modelos com restrições diferenciadas para cada médico.

Concluimos que o programa Híbrido combina muito bem as boas características da BT e do AG, fazendo com que estas duas conhecidas meta-heurísticas trabalhem em conjunto, obtendo resultados melhores do que cada uma delas isoladamente.

## Capítulo 8

# Uma aplicação: O HC da Unicamp

### 8.1 Introdução

O hospital das clínicas (HC) da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) tem um problema de alocação para os alunos do sexto ano de medicina, estes precisam dar plantões em quatro áreas distintas: Pronto Socorro (PS), Retaguarda, Enfermaria Clínica e Cirurgia. Estes estágios podem ser vistos como turnos em que os médicos têm que trabalhar.

Os turnos durante feriados e finais de semana são de 24 horas, e os turnos durante a semana são de 12 horas. Esta diferença de horas não é considerada no problema do Hospital Judeu onde todos os turnos têm aproximadamente 8 horas.

Este problema tem as características de um problema de alocação, como o do Hospital Judeu de Montreal, os turnos (estágios) precisam ser muito bem divididos, para que nenhum aluno seja prejudicado na sua formação profissional. Além do mais, os feriados e finais de semana tem que ser igualmente bem divididos por motivos de interação social.

### 8.2 Descrição do problema

Como estamos alocando alunos do sexto ano, o nosso horizonte de planejamento é de todo ano letivo mais precisamente do dia 12 de novembro de 2001 ao dia 11 de novembro de 2002.

O ano letivo é dividido em três partes, onde são ministradas as devidas disciplinas para o sexto ano de medicina (parte 1, parte 2 e parte 3).

Os alunos são divididos em três grupos (Grupo A, Grupo B e Grupo C), onde cada grupo de alunos segue uma seqüência de disciplinas. Por exemplo o Grupo A assiste as aulas na seqüência: parte 1, parte 2 e parte 3; o Grupo B, parte 2, parte 3 e parte 1 e finalmente o Grupo C, parte 3, parte 1 e parte 2 havendo assim uma rotação entre os grupos.

Em uma das partes está colocado o estágio normal de pronto socorro. Durante este estágio os alunos não são alocados para os plantões por estes serem muito desgastantes. Nesta mesma parte existem as férias, portanto não se pode alocar estes alunos para este período.

Temos seis turnos a serem alocados por dia: três PS, uma Retaguarda, uma Cirurgia e uma Enfermaria Clínica. Nos seis turnos, devemos ter necessariamente dois alunos de cada grupo. Por este motivo, o programa é executado em três fases: uma inicial, que faz esta divisão, a segunda que resolve cada um dos três problemas separadamente e finalmente é feita a junção em um único horário.

Para este problema é necessário considerar as seqüências de rotação de turnos, visto que os turnos começam e terminam no mesmo horário. Não é necessário considerarmos as restrições de grupos, pois os turnos por serem muito longos, 12 ou 24 horas, são alocados no formato de turno isolado e não em grupos.

Além das restrições de demanda hospitalar, temos basicamente três grupos de restrições a serem respeitadas: as restrições de contrato, as restrições que proíbem os alunos a trabalharem dois dias seguidos e as restrições de distribuição dos turnos pelo horário, para se evitar a concentração do trabalho em um período do ano.

Finalmente existem alguns casos especiais de alunos que, por um motivo qualquer, não são obrigados a cursar todo o ano letivo. Estes alunos farão os plantões proporcionalmente ao período cursado um terço ou dois terços do ano letivo.

O horário final deve ter uma boa distribuição de turnos, não havendo mais do que 12 horas de trabalho de diferença entre os alunos do mesmo grupo,. Também, os turnos devem estar bem divididos em relação aos finais de semana e feriados e, finalmente, o número de vezes que os alunos passam por um determinado estágio não deve distar demasiadamente dos demais alunos.

Temos então o problema de alocar 96 alunos, durante 365 dias em 6

tipos de turnos distintos (4 estágios + férias + dias livres). Para efeito de programação, as férias e os dias livres são contados como turnos. Assim estamos trabalhando com um problema inteiro com mais de 225000 variáveis binárias.

### 8.3 Resultados

Foi utilizado o Algoritmo Híbrido para gerar estes horários, tendo como solução inicial uma solução onde a demanda hospitalar é respeitada, nos moldes da solução inicial para o Hospital Judeu.

As Tabelas 8.1, 8.2 e 8.3, mostram um resumo dos resultados obtidos para o problema do Hospital das Clínicas da Unicamp. Nesta tabelas cada coluna corresponde a um aluno do sexto ano de medicina. As letras, A, B e C, nos dizem a que grupo este aluno pertence; o número após a letra nos diz quem é o estudante, por exemplo, A16, representa o aluno número 16 do grupo A. As linhas nos mostram qual é a quantidade de turnos que cada aluno estará fazendo durante o ano: as duas primeiras letras correspondem ao tipo de turno, (PS-Pronto Socorro, CI-Cirurgia, CL-CLínica e RE-REtaguarda); o número após estas letras mostram se o turno é durante a semana (1), finais de semana (2) ou feriados (3), por exemplo, RE3 significa turno de Retaguarda durante os feriados.

As últimas linhas nos dão um resumo e os totais parciais e geral do horário para cada aluno. Nelas podemos encontrar uma das siglas abaixo:

- Folga - dias de folga e férias pedido pelos alunos;
- T1,T2, T3 - totais de turnos do tipo 1 ao 3;
- T.G - total de turnos de 12 horas trabalhado pelo estudante;
- T.PS - total de turnos (de 12 horas) de PS;
- T.CI - total de turnos (de 12 horas) de cirurgia;
- T.CL - total de turnos (de 12 horas) de clínica;
- T.RE - total de turnos (de 12 horas) de retaguarda;

Para efeito de totalidade um turno de 24 horas é contado como se fosse 2 turnos de 12 horas.

Observando estas tabelas, vemos que o Total geral (linha T.G) não difere de mais de 12 horas entre as turmas e o Total 3, (T3 - total de turnos alocados durante os feriados), não difere de 1 turno, para todas as três turmas. Vemos então que estas condições, as principais do ponto de vista dos alunos, são satisfeitas na totalidade. Os totais para cada tipo de turno (PS, CI, CL e RE) também diferem muito pouco, com exceção dos alunos A30, B33, C30, C31 e C32, que são alunos especiais que cursarão somente um terço ou dois terços do período letivo.

O Horário foi implantado no hospital em 12 de novembro de 2001, sendo aceito com satisfação pelos médicos e alunos, pois atendeu todas as restrições que nos foram apresentadas.



## Capítulo 9

# Conclusões

Neste capítulo faremos uma descrição geral de todo o trabalho realizado nesta tese de mestrado, bem como a conclusão.

Primeiramente, foi desenvolvido por Buzon e LaPierre[1] um programa que utiliza a Busca Tabu como método de alocação. Algumas alterações foram feitas neste programa para que pudesse ser implementada a busca Híbrida, principalmente com respeito às vizinhanças, e um método de diminuir para variância dos scores dos médicos. Foi então desenvolvido o algoritmo que utiliza AG para resolver o problema de alocação do Hospital Judeu de Montreal, e como pode-se observar no Capítulo 7, este método sozinho é extremamente ineficiente para se minimizar a função objetivo, mas extremamente eficiente do ponto de vista da variabilidade.

Visto que cada método isoladamente tem boas características, foi então desenvolvida a Busca Híbrida, uma busca que utiliza as boas características da BT e do AG, fazendo estas trabalharem em conjunto para se obter um resultado mais amplo.

Foram então feitos os testes com as classes de testes apresentadas na Seção 7.2, e visto que o resultado foi positivo, passamos para segunda fase do projeto, isto é resolver a alocação para o Hospital Judeu de Montreal. Este é um problema extremamente difícil, uma vez que ele possui muitas restrições, a sua solução ótima não é conhecida, possuindo ainda uma característica marcante, que é a diferença entre os totais de trabalho de cada médico.

Durante os testes com o hospital Judeu, nos deparamos com duas peculiaridades: a primeira, como o algoritmo se comportaria se todos os médicos tivessem opções de trabalho parecidas, e a segunda como poderíamos colocar os pesos das restrições na função objetivo de forma a melhorar a performance

geral.

O primeira foi prontamente resolvida e os testes computacionais estão na Seção 7.4. Como pode-se observar pelo gráficos, o programa híbrido se comportou extremamente bem, obtendo resultados muito melhores do que a Busca Tabu e do Algoritmo Genético isoladamente.

A segunda peculiaridade foi mais difícil de ser resolvida. Neste ponto utilizamos a teoria de sistemas nebulosos. Os conceitos de decisões baseadas em regras e conjunto nebuloso se encaixam perfeitamente para o problema de se acertar os pesos, pois os pesos não são na realidade números fixos, e sim um número nebuloso. Foram então criadas classes de testes especiais com poucas restrições, nas quais sabíamos da existência do ótimo global. O resultado foi muito positivo, obtendo uma melhoria de até 37% no tempo de processamento e com muito menos avaliações da função objetivo. Estes resultados podem ser vistos na Seção 7.5.

Neste interim surgiu a oportunidade de fazermos uma alocação para o HC da Unicamp. Embora este fosse um problema um pouco diferente do nosso problema central, ele se encaixava em nossas restrições com um mínimo de alterações. Este problema foi então resolvido, e a escala final apresentada aos alunos no começo de novembro de 2001. A descrição do problema, bem como os resultados obtidos, estão no Capítulo 8.

Quanto ao problema do Hospital Judeu de Montreal, este foi resolvido utilizando o algoritmo Híbrido, onde obtivemos um resultado melhor do que a Busca Tabu e do Algoritmo Genético isoladamente, provando a eficiência deste tipo de busca.

Com isto superamos em muito a nossa proposta inicial, pois além de um algoritmo Híbrido que resolvesse o problema do hospital Judeu de Montreal, obtivemos um algoritmo robusto que pode ser aplicado aos mais diversos tipos de problemas de alocação, resolvendo inclusive o problema de alocação do HC da Unicamp. Resta citar ainda a parte relativa à teoria de sistemas nebulosos, que também foi implementada como uma ramificação do nosso trabalho e se encontra em seu estágio inicial.

Assim concluímos que nossos resultados foram além das expectativas iniciais, pois obtivemos resultados melhores em todos os testes comparativos entre as meta-heurísticas.

## Bibliografia

- [1] I. Buzon and S.D. Lapierre. A tabu search algorithm to schedule emergency room physicians. Technical report, mimeo at Centre for Research on Transportation, Montreal, Canada, 1999.
- [2] M.W. Carter and S.D. Lapierre. Scheduling emergency room physicians. Technical Report 99-23, Centre for Research on Transportation, Montreal, Canada, 1999.
- [3] G. Dantzig. A comment on edie's traffic delays at toll booths. *Operational Research*, 2:339–341, 1954.
- [4] K.A. Dowsland. Nurse scheduling with tabu search and strategic oscillation. *European Journal of Operational Research*, 106:393–407, 1998.
- [5] F. Glover and M. Laguna. *Tabu search*. Kluwer academic publishers, 1997.
- [6] G. Klir and B. Yan. *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic*. Prentice–Hall, 1995.
- [7] P. Knauth. The design of shift systems. *Ergonomics*, 36:15–18, 1993.
- [8] P. Knauth. Design better shift systems. *Applied Ergonomics*, 27:1:39–44, 1996.
- [9] P. Knauth and E. Kiesswetter. A change from weekly to quicker shift rotations: a field study of discontinuous three-shift workers. *Ergonomics*, 30:9:1311–1321, 1987.
- [10] Z. Michalewics. *Genetic Algorithms + data structures = Evolution Programs*. Springer, 1996.

- [11] W. Pedrycz and F. Gomide. *An Introduction to Fuzzy Sets*. MIT - Press, 1998.
- [12] D.M. Warner. A mathematical programming model for scheduling nursing personnel in a hospital. *Operations Research*, 24:842-885, 1976.