

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS
CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA INTERDISCIPLINAR DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM COMPUTAÇÃO APLICADA – PIPCA

MAIRA REGINA POLTOSI

ELABORAÇÃO DE ESCALAS DE TRABALHO DE TÉCNICOS DE
ENFERMAGEM COM BUSCA TABU E ALGORITMOS GENÉTICOS

São Leopoldo
2007

MAIRA REGINA POLTOSI

ELABORAÇÃO DE ESCALAS DE TRABALHO DE TÉCNICOS DE
ENFERMAGEM COM BUSCA TABU E ALGORITMOS GENÉTICOS

Dissertação apresentada à Universidade
do Vale do Rio dos Sinos como requisito
parcial para a obtenção do título de
Mestre em Computação Aplicada.

Orientador: Prof. Dr. Arthur Tórgo Gómez

São Leopoldo

2007

Maira Regina Poltosi

Elaboração de Escalas de Trabalho de Técnicos de Enfermagem com
Busca Tabu e Algoritmos Genéticos

Monografia apresentada à Universidade do Vale do Rio dos Sinos como
requisito parcial para obtenção do título de mestre em Computação Aplicada

Aprovado em março 2007.

Banca Examinadora

Professor Dr. Arthur Tórgo Gómez
PIPCA – Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Professor Dr. João Carlos Furtado
Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC

Professor Dr. Leonardo Dagnino Chiwiacowsky
PIPCA – Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos

Professores e colegas do PIPCA pela troca de experiências e motivação, pessoal da secretaria e laboratórios sempre atenciosos;

FINEP – Financiadora de Estudos e Projeto pelo apoio financeiro;

Contatos dos hospitais que me atenderam com muita paciência e me passaram muitas informações essenciais para este trabalho;

Chefes e colegas de trabalho pelo apoio e folgas concedidas;

Chineses anônimos que produziram o meu *pen-drive mp3-player*, que foi peça fundamental nas idas e vindas;

Meus gatos: Clara, Kika, Ulysses, Galileu e Zeca, companheiros de leitura;

Amigos que não me abandonaram apesar dos muitos “não posso” nestes últimos meses;

Peço perdão aos meus pais pela falta de tempo e de atenção;

Meu marido Eduardo que me chamou de volta ao planeta Terra muitas vezes;

Em especial ao professor Arthur Tórgo Gómez que além das aulas e orientação acadêmica, nos motivou e principalmente nos ensinou que

“O mundo é NP-*hard*!”

Enfim, aos que

... me apoiaram incondicionalmente;
... ajudaram direta e indiretamente (tem gente que nem imagina!!);
... questionaram e assim forçaram-me a revisar meus objetivos;
... ao me imporem obstáculos valorizaram ainda mais esta conquista e me tornaram mais forte!

Muito obrigada!

“Quanto mais motivos de interesse um homem tem, mais ocasiões tem também de ser feliz e menos está à mercê do destino, pois se perder um pode recorrer logo a outro”.

Bertrand Russel

RESUMO

Problemas de pessoal, produtividade e contenção de custos afetam todas as áreas de negócio, inclusive os provedores de cuidados de saúde. Porém, nesta área o controle dos custos não pode comprometer a qualidade do atendimento. É neste contexto que uma ferramenta computacional para a elaboração das escalas de trabalho de pessoal de enfermagem torna-se importante. Esta é uma tarefa realizada manualmente na maioria dos hospitais e clínicas, consumindo muito tempo e nem sempre atendendo completamente a legislação e normas vigentes. No Brasil há falta de ferramentas computacionais para a elaboração destas escalas, ou mesmo para a avaliação das escalas desenvolvidas. O objetivo desta pesquisa é encontrar uma solução, computacionalmente viável, para a geração de escalas de trabalho mensais para os técnicos de enfermagem, de acordo com as regras operacionais dos hospitais e as restrições da legislação. Deseja-se ainda obter maior nível de satisfação dos funcionários atendendo preferências de dias de folga e distribuição equitativa dos plantões nos sábados, domingos e feriados. A proposta é aplicar a metaheurística Busca Tabu combinada com Algoritmos Genéticos. Espera-se, com a aplicação destas metaheurísticas, que as escalas de trabalho sejam obtidas em um tempo computacional satisfatório, atendendo aos objetivos expostos. Foram realizados experimentos para avaliar a dinâmica das variáveis de decisão e a influência dos parâmetros da Busca Tabu e dos Algoritmos Genéticos na solução final. Na validação do modelo foram utilizados casos de teste artificiais baseados em dados reais levantados em um grande hospital de Porto Alegre, visto que não foram encontrados na literatura casos de teste adequados às regras e legislação brasileiras.

Palavras-chave: Escalas de trabalho, Enfermagem, Busca Tabu, Algoritmos Genéticos.

ABSTRACT

Problems of personnel, productivity and cost restriction affect all areas of a business, including the health care providers. However, in this area, cost control cannot endanger the quality of service. In this context, a software for creating the schedule of nursing personnel becomes important. This is a hand-made task in the majority of hospitals and clinics. It is time consuming and does not always comply to the legislation and the valid rules. In Brazil, there is a lack of computer tools for the creation of these schedules or even for the evaluation of the ones already developed. This research aims at finding a technologically feasible solution for the generation of monthly schedules for the nursing technicians, according to the operational rules of hospitals and legislation restrictions. It also aims at giving the employees a higher level of satisfaction, concerning their day off preferences and equitable distribution of duties on Saturdays, Sundays and holidays. The proposal is to apply a Tabu Search metaheuristic combined with Genetic Algorithms. We expect that, with the application of these metaheuristics, these schedules are obtained in a satisfactory computational time, reaching the exposed objectives. Experiments were carried out in order to evaluate the dynamics of the decision variables and the influence of the parameters of Tabu Search and Genetic Algorithms in the final solution. In the model validation, artificial test cases based on real data collected in a big hospital in Porto Alegre will be used, since test cases suitable to the Brazilian rules and legislation have not been found in literature.

KEYWORDS: Rostering, Nursing, Tabu Search, Genetic Algorithms

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Modelo de escala mensal.....	20
FIGURA 2 - Estratégias de divisão.....	34
FIGURA 3 - Algoritmo do <i>Simulated Annealing</i>	40
FIGURA 4 - Fluxo básico de um Algoritmo Genético.....	42
FIGURA 5 - Operadores genéticos.....	43
FIGURA 6 - Algoritmo clássico da Busca Tabu.....	46
FIGURA 7 - Estruturas de Vizinhaça.....	48
FIGURA 8 - Incidência das parcelas da FO na escala.....	72
FIGURA 9 - Arquitetura do modelo.....	74
FIGURA 10 - Metaheurísticas BT e AG no modelo proposto.....	76
FIGURA 11 – Dinâmica BT e AG.....	77
FIGURA 12 – Movimento de diversificação.....	79
FIGURA 13 – Algoritmo Exploração de Vizinhaça com Movimento de Diversificação.....	80
FIGURA 14 – Movimento de troca.....	81
FIGURA 15 – Algoritmo Exploração de Vizinhaça com Movimento de Troca.....	82
FIGURA 16 – Algoritmo de Busca Tabu implementado.....	83
FIGURA 17 – Mais gerações, maior mistura dos genes.....	86
FIGURA 18 – Comportamento das variáveis f_a e f_c e do Grau de dificuldade.....	96
FIGURA 19 – Comportamento das variáveis f_s e f_p e do Grau de dificuldade.....	97
FIGURA 20 – Comportamento das demais variáveis e do Grau de dificuldade.....	97
FIGURA 21 – Comportamento da FO e Grau de dificuldade.....	99
FIGURA 22 – Variação da FO nos diferentes meses.....	101
FIGURA 23 – Efeitos da variável f_s privilegiada.....	103
FIGURA 24 – Efeitos da variável f_p privilegiada.....	104
FIGURA 25 – Efeitos da variável f_i privilegiada.....	106
FIGURA 26 – Efeitos da variável f_{i+} privilegiada.....	107
FIGURA 27 – Efeitos da variável f_a privilegiada.....	109
FIGURA 28 – Efeitos da variável f_c privilegiada.....	110
FIGURA 29 – Resultados obtidos BT+AG.....	116
FIGURA 30 – Legenda de cores do programa Escala.....	133
FIGURA 31 – Avaliação da escala real.....	134
FIGURA 32 – Escala inicial.....	134
FIGURA 33 – Escala obtida pelo modelo.....	135

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Proporção de férias.....	19
TABELA 2 - Características de problemas de <i>timetabling</i> exemplo.....	25
TABELA 3 - Explosão Combinatória.....	36
TABELA 4 - Regras para técnicos de enfermagem Hospital 1.....	65
TABELA 5 - Regras para técnicos de enfermagem Hospital 2.....	66
TABELA 6 - Ponto de separação na ocorrência de férias.....	85
TABELA 7 - Proporção na ocorrência de licenças.....	90
TABELA 8 - Proporção para distribuição de folgas adquiridas.....	92
TABELA 9 - Pesos SNT mensais e anual.....	93
TABELA 10 – Resultados obtidos aplicando a BT no caso de teste modelo.....	94
TABELA 11 – Características dos meses para o ano de 2007.....	95
TABELA 12 – Correlação entre as variáveis f_a e f_c com grau de dificuldade.....	96
TABELA 13 – Influência do parâmetro Intervalo Mínimo.....	98
TABELA 14 - Resultados obtidos com pesos SNT.....	100
TABELA 15 - Resultados obtidos privilegiando o peso da variável f_s	102
TABELA 16 - Resultados obtidos privilegiando o peso da variável f_p	103
TABELA 17 - Resultados obtidos privilegiando o peso da variável f_f	105
TABELA 18 - Resultados obtidos privilegiando o peso da variável f_i	105
TABELA 19 - Resultados obtidos privilegiando o peso da variável f_{i+}	106
TABELA 20 - Convertendo resultados da variável f_{i+}	107
TABELA 21 - Resultados obtidos privilegiando o peso da variável f_a	108
TABELA 22 - Resultados obtidos privilegiando o peso da variável f_c	109
TABELA 23 - Resultados obtidos com a variação do LT.....	111
TABELA 24 - Resultados obtidos com a variação do BT_{max}	112
TABELA 25 - Aproveitamento dos movimentos realizados.....	112
TABELA 26 - Casos de Teste em que o AG não introduziu melhoria.....	113
TABELA 27 - Caso de Teste: população inicial igual a toda população.....	114
TABELA 28 - Caso de Teste: $LT = 10$	114
TABELA 29 - Caso de Teste: 12 técnicos, $BT_{max} = 50$, $LT = 10$, janeiro.....	115
TABELA 30 – Avaliação Escala real.....	118

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AG	-	Algoritmos Genéticos
BT	-	Busca Tabu
BT _{max}	-	Número máximo de iterações sem obtenção de melhor resultado
COFEN	-	Conselho Federal de Enfermagem
COREN	-	Conselho Regional de Enfermagem
CSP	-	<i>Constraint Satisfaction Problem</i>
FIFO	-	<i>First In - First Out</i> – estrutura de dados do tipo fila
FO	-	Função Objetivo
GRASP	-	<i>Greedy Randomized Adaptive Procedure</i>
LT	-	Tamanho da Lista Tabu
ROC	-	<i>Rank Order Centroid</i> - Ordem de Classificação de Centróides
SA	-	<i>Simulated Annealing</i>
SNT	-	Solução Não-Tendenciosa

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	12
CAPÍTULO 2 - ESCALAS DE TRABALHO DE PESSOAL DE ENFERMAGEM.....	15
2.1 Categorias profissionais.....	15
2.2 Dimensionamento de Pessoal	15
2.3 Elaboração das Escalas.....	18
2.3.1 Escala de Férias	19
2.3.2 Escala Mensal.....	20
2.3.3 Escala Diária.....	20
CAPÍTULO 3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
3.1 Escalas de Trabalho	26
3.2 Áreas de aplicação	30
CAPÍTULO 4 - TÉCNICAS DE SOLUÇÃO.....	32
4.1 Programação Matemática	33
4.1.1 Programação Linear Inteira	33
4.1.2 <i>Branch-and-Bound</i>	344
4.1.3 Geração de Colunas	355
4.2 Heurísticas	35
4.3 Metaheurísticas.....	37
4.3.1 <i>Simulated Annealing</i>	38
4.3.2 Algoritmos Genéticos.....	40
4.3.3 Busca Tabu	44
4.3.4 Estratégias de Busca	467
4.3.5 Estruturas de Vizinhança.....	47
4.3.6 Hibridização	49
CAPÍTULO 5 - TRABALHOS RELACIONADOS.....	50
5.1 Pesquisas sobre Escalas de Trabalho	50
5.2 Formulação do Problema.....	53
CAPÍTULO 6 - MODELO PROPOSTO	63
6.1 Apresentação do Ambiente.....	63
6.2 Definição do Modelo	65
6.3 Formulação Matemática.....	68
CAPÍTULO 7 - APLICAÇÃO	74
7.1 Arquitetura do Modelo	74
7.2 Entrada de dados.....	75
7.3 Processo.....	75
7.3.1 Construção da solução inicial.....	77
7.3.2 Busca Tabu	79
7.3.3 Algoritmo Genético	84
7.4 Saídas.....	86
7.5 Tecnologia	87

CAPÍTULO 8 - EXPERIMENTOS E VALIDAÇÃO	88
8.1 Ambiente de teste	88
8.2 Casos de teste	88
8.2.1 Casos de teste modelo	89
8.2.2 Gerador de casos de teste	90
8.3 Experimentos	92
8.3.1 Solução Não Tendenciosa	92
8.3.2 Influência da Variação dos Meses	94
8.3.3 Resultados com pesos da SNT	100
8.3.4 Privilegiando Variáveis	101
8.3.4.1 Variável Solicitações	102
8.3.4.2 Variável Distribuição dos Plantões	103
8.3.4.3 Variável Fim-de-semana	104
8.3.4.4 Variáveis Intervalo e Intervalo+	105
8.3.4.5 Variável Folgas Adquiridas	108
8.3.4.6 Variável Cobertura	109
8.3.5 Experimentos com os parâmetros da BT	110
8.3.6 Experimentos com BT e AG	113
8.3.7 Validação do Modelo	117
CAPÍTULO 9 - CONCLUSÕES	119
9.1 Resultados dos Experimentos	119
9.2 Contribuições	121
9.3 Trabalhos Futuros	121
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	123
APÊNDICES	127
ANEXOS	134

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A Pesquisa Operacional procura uma boa solução, quando não a ótima, para problemas relativos a condução e coordenação das atividades das organizações. *“É uma abordagem científica à tomada de decisões”* (HILLIER e LIEBERMANN, 2001). Uma característica da Pesquisa Operacional é a busca de uma solução considerando a organização como um todo, resolvendo conflitos de interesse entre seus componentes. Inicialmente voltada a aplicações militares, atualmente é aplicada na indústria, governo, instituições financeiras e hospitais. Entre os vários problemas tratados, encontram-se: alocação de recursos, distribuição e transportes, mistura de materiais, carteira de investimentos, planejamento de produção.

Em época de alta competitividade e escassez de recursos financeiros é usual a alta administração das instituições pressionar para a redução quantitativa dos recursos humanos visando resultados financeiros imediatos. Para Ernst (2004a), *“prover a pessoa certa, no tempo certo, no custo adequado e ainda alcançar um alto nível de satisfação dos trabalhadores é um problema crítico para as organizações”*. Segundo Gaidzinski (1991) *“o dimensionamento de recursos humanos, em qualquer organização, tem sido considerado um desafio. Esses recursos são os mais complexos da organização, e os demais recursos exigem a sua presença para que possam ser utilizados”*.

Os problemas de escalonamento de pessoal tratam da determinação apropriada da necessidade de força de trabalho, alocação e designação de tarefas a esta força de trabalho ao encontro de requisitos internos e externos de uma organização. Isto envolve alocação de pessoal a períodos de tempo e possíveis locações (SOUBEIGA, 2003). É visto como um problema de otimização cujo objetivo é encontrar uma solução que otimiza uma função objetivo envolvendo certas variáveis do problema enquanto satisfaz um conjunto de restrições (MEISELS e SCHAERF, 2003).

A preocupação com redução de custos, também atinge a área da saúde. O alto custo do atendimento está se tornando uma grande preocupação para o público, a classe médica e os governos. Há muito interesse em que os custos médicos e hospitalares sejam controlados. A sociedade exige melhor atendimento e uma chance de participar desse atendimento, o empresariado tem interesse nos lucros e para o governo significa redução de verbas ou melhoria no atendimento.

Se por um lado o atendimento de saúde é um direito básico de todas as pessoas, por outro, a questão é como proporcionar um atendimento adequado a um custo razoável para todos. Problemas de pessoal, produtividade e contenção de custos afetam todos os provedores de cuidados de saúde, porém nesta área, o controle dos custos não pode comprometer a qualidade do atendimento. Em consequência disso, os hospitais e a classe médica estão buscando intensivamente medidas efetivas de redução de custos.

Segundo Gaidzinski (1991):

Na maioria das instituições de saúde do país, a equipe de enfermagem representa, quantitativamente, o percentual mais significativo de pessoal dessas instituições, chegando a atingir cerca de 60% nas instituições hospitalares. Assim esta equipe é a mais visada quando o problema é a redução de despesas.

É neste contexto que uma ferramenta computacional para a elaboração das escalas de trabalho de pessoal de enfermagem torna-se importante. Esta é uma tarefa realizada manualmente na maioria dos hospitais e clínicas, consumindo muito tempo e nem sempre atendendo completamente a legislação e normas vigentes. Há falta de ferramentas computacionais para a elaboração destas escalas ou mesmo para a avaliação das escalas desenvolvidas.

O objetivo desta pesquisa é encontrar uma solução, computacionalmente viável, para a geração de escalas de trabalho mensais para os técnicos de enfermagem, de acordo com as regras operacionais do hospital e as restrições da legislação. Deseja-se ainda obter maior nível de satisfação dos funcionários atendendo preferências de dias de folga e distribuição equitativa dos plantões nos sábados, domingos e feriados. Os benefícios diretos do uso desta ferramenta são:

- Redução do tempo dedicado pelas chefias para a elaboração das escalas;
- Obtenção de escalas mais rigorosas quanto ao cumprimento de leis e normas;
- Melhor distribuição das folgas nos sábados, domingos e feriados;
- Atendimento das preferências dos funcionários para as folgas.

Indiretamente, deve-se obter maior satisfação do corpo funcional e, por conseguinte, maior produtividade e retenção dos trabalhadores. Deste modo, o aperfeiçoamento das escalas de trabalho leva à redução de custos e maior qualidade no serviço prestado.

Devido ao grande número de variáveis, restrições envolvidas e de soluções possíveis, trata-se de um problema de otimização NP-Difícil (BURKE et al, 2003a; MAURI, 2005), onde os métodos tradicionais de computação não atingem resultados satisfatórios. A proposta é aplicar a metaheurística Busca Tabu combinada com um Algoritmo Genético. Metaheurísticas são procedimentos computacionais e matemáticos que possuem uma definição geral e são implementados com adaptações para tratar de um problema específico. As pesquisas mais recentes, anos 90 em diante, usam metaheurísticas para tratar o problema reais, não simplificados, de escalas de trabalho (BURKE et al, 2004a).

Espera-se, com a aplicação de metaheurísticas, que as escalas de trabalho sejam obtidas em um tempo computacional satisfatório, atendendo aos objetivos expostos.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: no capítulo 2 são comentados aspectos que envolvem a elaboração de escalas de trabalho de pessoal de enfermagem. Problemas de escalas de trabalho são revistos no capítulo 3. O capítulo 4 aborda os principais métodos de solução aplicados a este tipo de problema. No capítulo 5 são comentadas as técnicas aplicadas em alguns trabalhos realizados sobre o problema abordado e a sua definição formal encontrada na literatura. O capítulo 6 apresenta o modelo proposto e a definição do problema utilizada nesta pesquisa. A arquitetura da aplicação implementada está no capítulo 7. No capítulo 8 está a descrição dos experimentos e dos procedimentos de validação. Por fim, as conclusões desta pesquisa estão no capítulo 9.

CAPÍTULO 2

ESCALAS DE TRABALHO DE PESSOAL DE ENFERMAGEM

O processo de designação de pessoal inicia com o seu dimensionamento. É preciso prever a quantidade de enfermeiros, de cada categoria, que é necessária para atender as necessidades dos pacientes de cada enfermaria. Após o levantamento da força de trabalho, deve ser realizada a distribuição deste pessoal nos turnos de trabalho, ou seja, a elaboração das escalas de trabalho.

2.1 CATEGORIAS PROFISSIONAIS

A enfermagem é uma profissão que possui atribuições bem definidas. São os enfermeiros, na concepção geral, que cuidam dos pacientes internados nos hospitais ou clínicas, acompanhando o estado de saúde do paciente diariamente. Controlam o uso e a distribuição de material médico-hospitalar, providenciam que os medicamentos sejam ministrados conforme a prescrição dos médicos. Aplicam injeções, soros e fazem curativos.

Os profissionais de enfermagem são representados por enfermeiros, técnicos e atendentes ou auxiliares, estes últimos em vias de extinção devido a profissionalização do setor. Para exercer a profissão de enfermeiro é exigido o diploma do curso superior de enfermagem, com quatro anos de duração. Para os técnicos em enfermagem, o curso dura de um ano e meio a dois anos e é preciso ter concluído o ensino médio. Cabe aos enfermeiros a função de chefia da equipe de técnicos e atendentes de enfermagem.

Neste trabalho, encontra-se o termo enfermeiro também utilizado como sinônimo de pessoal de enfermagem, não se referindo estritamente ao profissional com curso superior.

2.2 DIMENSIONAMENTO DE PESSOAL

Dimensionar o pessoal de enfermagem é realizar a *“previsão da quantidade de funcionários por categoria, requerida para atender, direta ou indiretamente, às necessidades de assistência de enfermagem da clientela”* (MASSAROLLO,1991). O dimensionamento inadequado aumenta custos ou prejudica a qualidade da assistência prestada. “A inadequação

numérica e qualitativa dos recursos humanos da enfermagem lesa a clientela dos serviços de saúde no seu direito de assistência à saúde livre de riscos. Essa inadequação também pode comprometer legalmente a instituição, por falhas ocorridas na assistência” (GAIDZINSKI, 1991).

Alguns aspectos que devem ser considerados para o dimensionamento de pessoal de enfermagem são:

- Filosofia, objetivos, programas e propostas assistenciais da instituição;
- Levantamento qualitativo e quantitativo de recursos humanos, materiais e tecnológicos;
- Fatores políticos, sociais e econômicos que afetam a dinâmica da instituição;
- Categoria do pessoal de enfermagem e tipo, número e complexidade das atividades de assistência;
- Classificação dos pacientes segundo a necessidade de cuidados e grau de dependência (intensivo, semi-intensivo, autocuidado);
- Horas de trabalho semanal;
- Distribuição da equipe de enfermagem nas 24 horas;
- Percentual de ausências da equipe de enfermagem, considerando férias, licenças e faltas.

Em Gaidzinski (1991) são sugeridos os seguintes procedimentos para efetuar o cálculo de pessoal de enfermagem: calcular a força média de trabalho de enfermagem, calcular o número de pessoal de enfermagem necessário, distribuir o pessoal nas unidades e nos turnos.

O cálculo da força média de trabalho de enfermagem (FTE) necessária para atender pacientes de um dado tipo de cuidado segue a seguinte formulação:

$$FTE \text{ (tipo de cuidado)} = \frac{NC \times HA \times DS}{CHS}, \quad (2.1)$$

onde:

NC - número médio de pacientes classificados dentro de um mesmo tipo de cuidado;

HA – tempo médio diário despendido pelos elementos da equipe da enfermagem para atender às necessidades de um paciente classificado neste tipo de cuidado;

DS – dias trabalhados na unidade por semana;

CHS – número de horas a serem trabalhadas na semana por elemento da equipe de enfermagem;

O número de pessoal de enfermagem (PE) necessário para uma dada unidade da instituição, pode ser obtido pelo seguinte cálculo:

$$PE = (FTE1 + FTE2 + \dots + FTE_n) \times \left(1 + \frac{N}{F \times D} \right), \quad (2.2)$$

onde:

FTE 1 + FTE 2 + ... + FTE n – soma das forças médias de trabalho para cada tipo de cuidado;

N – número mensal de ausências (férias, faltas, licenças) dos funcionários na unidade;

F – número total de funcionários da unidade;

D – dias trabalhados no mês.

A distribuição do pessoal de enfermagem nas unidades deve considerar a categoria dos profissionais, de acordo com o tipo e complexidade das atividades executadas nas unidades e a distribuição nos turnos de trabalho, deve considerar a dinâmica da unidade.

O total de pessoal de enfermagem requerido na instituição pode ser obtido pela soma das necessidades de pessoal de cada unidade.

É necessária uma avaliação permanente destes cálculos, pois o dimensionamento de pessoal é um processo complexo e dinâmico que sofre interferência de muitos fatores, como, por exemplo, a rotatividade de pessoal. Além disto, a qualidade da assistência prestada depende diretamente da especificação quantitativa e qualitativa da equipe de enfermagem.

A resolução 189/1996 do Conselho Federal de Enfermagem que estabelece parâmetros para o dimensionamento do quadro de profissionais de enfermagem nas instituições de saúde, encontra-se no Anexo A deste trabalho.

2.3 ELABORAÇÃO DAS ESCALAS

Como podemos observar, um dos fatores que afetam o dimensionamento de pessoal de enfermagem é a escala de distribuição do pessoal. Para prestar o atendimento 24 horas, nos 7 dias da semana, a área da saúde adota escala por turnos. A elaboração desta escala é uma atividade complexa que depende tempo e requer conhecimento das necessidades de assistência dos pacientes, da dinâmica da unidade, das características da equipe, das leis trabalhistas e normas internas da instituição. A distribuição de pessoal deve ser elaborada de forma a assegurar a melhor assistência possível equilibrando folgas, férias e ainda considerar eventuais licenças. Preferencialmente, devem ser consideradas as características pessoais de cada elemento da equipe para que se promova um clima de colaboração e assim obter maior produtividade.

Conforme literatura da área (COSTA et al, 2000; MARQUIS e HUSTON, 2005), o sistema de trabalho em turnos afeta a saúde dos profissionais, interfere nos relacionamentos pessoal e familiar, e restringe a participação em atividades sociais, dificultando a elaboração de um projeto de vida. A produtividade e o orçamento dos funcionários também são afetados. Para a instituição, a escala impacta nos custos financeiros, na retenção de pessoal, na produtividade, na administração de riscos e na satisfação do trabalhador e dos pacientes.

De acordo com Marquis e Huston (2005):

O administrador precisa assegurar-se de que a quantidade, o mix e a disponibilidade de funcionários estejam adequados para o atendimento das necessidades diárias da unidade e das metas da organização. Considerando-se que os padrões dos funcionários e as políticas de escalonamento de horário afetam diretamente o cotidiano de todos eles, é importante que a administração desses elementos seja justa e econômica.

As instituições podem adotar a alocação de pessoal descentralizada, neste caso os chefes das unidades decidem sobre o escalonamento dos horários, ou ainda ter um setor encarregado que centraliza as alocações. A descentralização promove maior autonomia e flexibilidade, mas por outro lado possibilita que o chefe da unidade conceda recompensas ou aplique punições através da escala de horários. Entretanto, a principal dificuldade está na

qualidade da decisão sobre o número de trabalhadores necessários. A distribuição de pessoal é feita através de escalas de férias, mensais e diárias.

A escala deve ser comunicada com antecedência para que os funcionários possam programar suas atividades pessoais. Por outro lado, as preferências pessoais devem ser previstas com antecedência para serem consideradas quando as escalas são elaboradas para longos períodos, o que nem sempre é possível.

Independente do tipo de distribuição de pessoal, as escalas de férias, mensal e de atividades devem refletir um tratamento imparcial e justo para todos os funcionários, distribuindo igualmente as tarefas, folgas e plantões nos finais de semana e feriados.

2.3.1 Escala de Férias

A escala de férias é uma escala anual onde estão registrados os períodos de férias de todo pessoal. Após 12 meses de trabalho consecutivo, todo funcionário tem direito a férias proporcionais ao número de faltas ocorridas no período de aquisição, como ilustra a Tabela 1.

TABELA 1: Proporção de férias.

Número de faltas	Dias de férias
Até 5	30
De 6 a 14	24
De 15 a 23	18
De 24 a 32	12
Mais de 32	Perde o direito

É importante ressaltar que a legislação brasileira prevê que a prioridade da determinação da época de concessão de férias é do empregador, com algumas exceções.

Além do cumprimento das regras impostas pela legislação trabalhista, outras orientações devem ser observadas, tais como, não permitir que muitos funcionários gozem férias no período de maior demanda de assistência da unidade e evitar grande intervalo entre as férias de um funcionário para evitar cansaço excessivo.

As férias devem ser distribuídas, racionalmente, de forma a garantir a disponibilidade de pessoal necessária para manter a qualidade da assistência prestada.

domingos e feriados, ou dias não existentes no mês em planejamento. Em cada cruzamento enfermeiro/dia é colocado a escala daquele dia para aquele enfermeiro conforme a legenda que se encontra abaixo da grade. Escalas enfermeiro/dia sem indicação, em branco, indicam um dia de trabalho.

2.3.3 Escala Diária

Trata-se de uma escala de atividades. Objetiva dividir as atividades diárias de modo a não promover sobrecarga nem ociosidade dos funcionários garantindo a qualidade da assistência. Para tanto devem ser considerados o tamanho e a qualificação da equipe e a complexidade e quantidade de assistência que cada paciente necessita. Poderá ser feito para um período de tempo maior que do que um dia, mas será necessário verificar diariamente se há necessidade de alteração.

A divisão de tarefas pode seguir os seguintes métodos:

- *Funcional* – distribuição do atendimento, de acordo com tarefas, a várias categorias de prestadores de atendimento. Também é descrita como método de atendimento tipo “linha de montagem”. Pode ser eficiente por fazer com que todo trabalho seja realizado quando há falta de pessoal, contudo os pacientes podem não ficar satisfeitos com o atendimento recebido por este ser muito fragmentado;
- *Integral ou Total* – É designado um ou mais pacientes a um profissional que prestará toda assistência a estes pacientes durante sua jornada. O atendimento não é fragmentado durante o tempo de serviço do enfermeiro embora isto não possa ser coordenado de um turno para outro ou de um dia para outro, por ocorrerem alterações na designação de tarefas. Os profissionais de enfermagem apresentam um grau de satisfação mais alto com este método por poderem aplicar seus conhecimentos plenamente. E os pacientes também ficam mais satisfeitos por serem atendidos por alguém que conheça seu quadro clínico. A distribuição de pessoal para o atendimento total deve considerar os cuidados demandados pelos pacientes e os padrões de atendimento que a instituição deseja prestar;
- *Trabalho em equipe* – Designação de um conjunto de pacientes a um grupo de membros da equipe, com qualificações diversas, que deverá prestar toda a

assistência durante a jornada. Este método se baseia em que um grupo, agindo colaborativamente, pode proporcionar um melhor atendimento ao paciente.

Em unidades de terapia intensiva é adotado usualmente o método integral. Para promover equilíbrio na distribuição das tarefas, há rotação dos pacientes entre os membros da equipe, de um dia para outro. Há pacientes que demandam maior atenção, seja pelo número de aparelhos conectados, ou mesmo por necessidades emocionais.

CAPÍTULO 3

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A literatura sobre o problema de elaboração de escala de trabalho é bastante extensa e variada (BURKE et al, 2004b, ERNST et al, 2004a, 2004b, MEISELS e SCHAERF, 2003) tanto na definição do problema quanto nos métodos de solução empregados. É um tópico de estudo da área de Pesquisa Operacional que, devido à complexidade envolvida, podem ser aplicadas técnicas de Inteligência Artificial. Não há uma terminologia padrão entre os autores para identificar este tipo de problema. Em Burke e Soubeiga (2003), encontra-se a expressão “*personnel (ou manpower, workforce, staff) scheduling (ou planning, timetabling, rostering)*”, através da qual os autores tentam abranger os vários nomes pelos quais esta classe de problemas é apresentada. Algumas vezes, os pesquisadores aplicam uma determinada terminologia, mas suas pesquisas são, na verdade, de subproblemas do problema citado. Na literatura encontramos classificações diversas para este tipo de problema:

- *Timetabling* – Meisels e Schaerf (2003) definem *timetabling employees* ao processo de designar trabalhadores a tarefas durante os turnos de trabalho. O problema de elaboração de escalas de enfermeiros foi classificado como *timetabling* por Custers et al (2004);
- *Scheduling* – Jaumard et al (1998) propõem um modelo de geração de colunas para um problema de escalonamento de enfermeiros que pode ser generalizado para a classe de *personnel scheduling problems*. Como modelar o problema de *staff scheduling* é a proposta de Blöchliger (2004). Gavião et al (2005) chamam a criação e atribuição de escalas de serviço a funcionários de uma empresa de transporte de problema de escalonamento de pessoal;
- *Rostering* – Dowling (1997), Chun et al (2000), Burke et al (1998, 2001a, 2001b, 2003a, 2003b, 2004a, 2004b), Ernst (2004a, 2004b), Özcan (2005).

Wren (1996) considera *scheduling* uma classe de problemas que inclui os problemas de *timetabling, sequencing e rostering*, e para uma maior compreensão, estabelece uma definição mais específica para cada um destes conceitos:

- *Scheduling* (escalonamento) é a alocação, sujeita a restrições, de recursos a objetos, situado no espaço e no tempo, de modo minimizar o custo total. Esta alocação pode seguir um padrão, tais como um ordenamento de eventos, rotas, entre outros. Os objetos podem ser máquinas, peças, pessoas, veículos, aulas, exames, etc. Os objetos podem ser compostos por itens, formados em uma subetapa do processo de escalonamento, como exemplo, tarefas que compõem um turno de trabalho que por sua vez são organizados em uma escala de trabalho. As restrições regulam o modo como os objetos são organizados ou seguem o padrão, representando obstáculos para o alcance do objetivo, fazendo parte da definição da instância do problema;
- *Timetabling* (horários) é a alocação, sujeita a restrições, de recursos a objetos, situados no espaço e no tempo, de modo a satisfazer o máximo possível um conjunto de objetivos desejáveis;
- *Sequencing* (seqüenciamento) é definido como a construção, sujeita a restrições, de uma ordem nas quais atividades devem ser executadas ou objetos devem ser colocados, representando uma solução;
- *Rostering* (escalas de trabalho) é o posicionamento, sujeito a restrições, de recursos em uma seqüência, seguindo um padrão. Normalmente os recursos alternam-se numa escala. Pode-se buscar otimizar algum resultado ou simplesmente obter uma alocação viável. O problema de elaboração de escalas de trabalho é bastante próximo do problema de horários, mesmo com regras tão diferentes.

Para Meisels e Schaefer (2003), o escalonamento de empregados é um problema de otimização que envolve escalas que seguem padrões cíclicos de dias de trabalho e de folga que são designados aos trabalhadores. Porém, nas condições reais, as restrições e preferências dos empregados não são cíclicas e assim não se encaixam neste conceito de escalas. Deste modo os autores preferem chamar o problema de *Employee Timetabling Problems*, que é tratado como um caso típico de *timetabling* que designa recursos à atividades. Do mesmo modo que professores são designados aos horários, os trabalhadores são designados a turnos de trabalho.

O problema da elaboração de escalas de enfermeiros representa uma subclasse de problemas de *timetabling* para Özcan (2005). O objetivo é encontrar uma designação de recursos aos turnos com alta qualidade, satisfazendo as restrições dos trabalhadores, dos

empregadores e até dos clientes. O escalonamento de turnos define os horários de trabalho dos empregados assim como um problema de *timetabling* trata os horários dos professores. A escala de trabalhos de enfermeiros é uma tabela de horários que consiste na designação dos turnos de trabalho e dias de folga.

Custers et al (2004) sugere uma estrutura genérica (*framework*) e uma ontologia para possibilitar que a solução de uma instância de um problema de *timetabling* seja aplicada a outras instâncias. Para a criação desta ontologia, foram agrupadas as características chaves de quatro problemas clássicos de *timetabling* ou de *scheduling*, conforme a Tabela 2. Com este enfoque os autores reduziram as diferenças entre os problemas de elaboração de horário escolar, de programação de um campeonato esportivo, de escalas de trabalho e da programação de produção a uma questão semântica.

TABELA 2: Características de problemas de *timetabling* exemplo.

	Horário escolar (Timetabling)	Programação Esportiva (Timetabling)	Escalas de Trabalho (Rostering)	Job Shop Scheduling
Objeto	Aula	Jogo	Turno	Operação
Dimensões do Problema	Tempo, sala	Esporte, dia	Tempo, pessoa	Hora de início da operação
Atributos do objeto	Professor e alunos	Time da casa e time visitante	Tipo do turno e qualificação	Máquina e parte(<i>job</i>)
Exemplos de Restrições Obrigatórias	<ul style="list-style-type: none"> - Mais de uma aula em um horário para um professor - Mais de uma aula em um horário para um aluno - Não ter aulas em feriados 	<ul style="list-style-type: none"> - Não permitir A x B e B x A - Não mais que n jogos consecutivos em casa - Não mais que n jogos consecutivos no adversário 	<ul style="list-style-type: none"> - Qualificação do pessoal - Restrições de cobertura 	<ul style="list-style-type: none"> - Ferramenta - Ordem das operações - Capacidade - Recursos - Estoque
Exemplos de Restrições Desejáveis	<ul style="list-style-type: none"> - Capacidade da sala - Facilidades da sala - Precedência de aulas - Preferências do professor - Preferências do aluno 		<ul style="list-style-type: none"> - Restrições de Contrato: hora-extra, carga de trabalho, turnos consecutivos, etc - Preferências do pessoal - Padrões 	<ul style="list-style-type: none"> - Restrições de precedência - Restrições de máquinas
Objetivo: minimizar	Violação das restrições desejáveis	Distância viajada	Violação das restrições desejáveis	Atrasos e tempos de Processamento

De acordo com Ernst et al. (2004b), escalonamento de pessoal (*rostering*) é definido como o processo de construir horários de trabalho otimizados para equipes. O problema do

rostering envolve alocar pessoal qualificado, de acordo com uma demanda variável no tempo, para diferentes serviços, atendendo leis e normas e ainda buscando satisfazer as preferências de trabalho das pessoas.

É um problema de otimização complexo devido ao grande número de restrições e requisitos que, às vezes, chegam a ser conflitantes. As diferenças entre as indústrias resultam em diferentes modelos de *rostering*, que por sua vez, requerem diferentes técnicas para uma boa solução.

3.1 ESCALAS DE TRABALHO

De acordo com Webster's (1989): "Roster – 1. Uma lista de pessoas ou grupos, ou unidades, com seus turnos ou períodos de tarefas; 2. Qualquer lista, relação ou registro".

As escalas de trabalho seguem um padrão de dias de trabalho e de folga que são designados a um trabalhador. É um problema NP-Difícil (BURKE et al, 2003a; MAURI, 2005), devido ao grande número de variáveis, complexidade das restrições envolvidas e o número de soluções potenciais. Se D é o número de dias do período sendo planejado e o trabalhador pode ser designado a T turnos diferentes a cada dia, então são T^D escalas a serem examinadas (JAUMARD et al, 1998). Em se tratando de uma escala de D dias de trabalho ou de folga, são 2^D escalas possíveis, ou seja, para uma semana (sete dias) são 128 resultados e para duas semanas (catorze dias) são 16.384 combinações diferentes.

Segundo Ernst (2004a), a organização em módulos, torna o problema mais tratável computacionalmente, reduz a complexidade e ainda mais adequado no uso prático. Por exemplo, a etapa de definição dos turnos de trabalho pode ser realizada com certa antecedência, mas a etapa de designação de tarefas pode ser executada um pouco antes do início do turno de trabalho, priorizando as tarefas urgentes naquele momento.

Para Blöchliger (2004) é importante identificar partes da escala que possam ser tratadas independentemente. Separar o problema em vários problemas menores, e assim diminuindo o espaço de soluções, pode representar um ganho significativo tanto no tempo de processamento quanto na qualidade do resultado obtido.

O problema da construção de escalas de trabalho envolve muitas restrições impostas pelas leis trabalhistas, acordos entre os trabalhadores e patrões e normas internas das

empresas. Estas regras determinam as folgas, os plantões, turnos noturnos, trabalhos em feriados, etc. Estas restrições são chamadas de “*hard constraints*” dada a obrigatoriedade de serem atendidas. As restrições “*soft*” são desejadas que sejam atendidas e ao máximo possível, como por exemplo, a preferência de um trabalhador em ter folga em determinado dia. Não atendê-lo não inviabiliza a escala, mas esta escala pode ser preterida por outra escala viável que satisfaça o trabalhador. A distribuição equilibrada da carga de trabalho também é uma restrição desejável (*soft*). Para modelar as regras desejáveis é preciso incluir um mecanismo de penalidade por restrições não satisfeitas, total ou parcialmente, na função objetivo.

Ernst (2004a) apresenta o processo de *rostering* como uma série de fases que vai desde a especificação da equipe até a atribuição de tarefas a cada indivíduo, sobre um período de tempo. Dependendo da escala que está sendo desenvolvida, algumas fases podem ser suprimidas, por exemplo, problemas de *crew scheduling* e *rostering* não lidam com tarefas. As seis fases identificadas estão descritas a seguir:

a) Modelagem da demanda (*Demand modelling*) - É determinar quantas pessoas são necessárias para atender a demanda de tarefas em um determinado horário. Esta fase, usualmente, é tratada como um módulo separado. Esta etapa torna-se desnecessária quando as informações de demanda de pessoal são previamente conhecidas, bastando fornecê-las para as etapas seguintes do processo. A demanda pode ser:

- *Baseada em tarefas*: São consideradas as tarefas individuais, a duração e a qualificação necessária para executá-las. Casos que tipicamente se enquadram em demanda baseada em tarefas são os de escalonamento de pessoal para meios de transporte. Também pode ser obtida através das tabelas de horários. Se o número de tarefas for grande, é conveniente agregá-las para tornar o problema tratável. O trabalho de Sarin e Aggarwal (2001) visa obter o número mínimo de trabalhadores para um terminal de carga e descarga de caminhões;
- *Flexível*: Na falta de lista de tarefas ou tabelas de horários, quando não há como controlar a demanda, por exemplo, serviços de atendimento de emergência e em centrais telefônicas, deve-se usar técnicas de previsões como teoria das filas ou simulação, como feito em Barboza et al (2003);

- *Baseada em turnos*: A demanda é obtida de um número especificado de pessoas que devem estar trabalhando em cada turno. Um turno pode ser a carga de trabalho diária de um trabalhador.

b) Escalonamento dos dias de folga (*Days-off scheduling*) - Trata da distribuição dos dias de folga de cada trabalhador no período coberto pela escala. Esta fase é usualmente necessária quando se lida com demanda flexível ou baseada em turnos;

c) Escalonamento de turnos (*Shift scheduling*) - Selecionar os turnos que devem ser realizados, assim como o número de trabalhadores para cada turno, de modo a atender a demanda. Quando se trata de demanda flexível, precisam ser consideradas as regras para os intervalos de descanso e refeições. Nos casos de atender demanda baseada em tarefas, esta etapa é também chamada de *crew scheduling* ou *crew pairing optimization*. Esta etapa é desnecessária nos casos de demanda baseada em turnos;

d) Construção de linhas de trabalho (*Line of work construction*) - É a montagem de uma escala individual ao longo do período que será coberto pela escala, considerando as restrições, os objetivos conflitantes que normalmente fazem parte deste tipo de problema e o padrão de demanda. Os modelos de linhas de trabalho podem ser cíclicos ou acíclicos ou, ainda, baseados em jornadas:

- *Cíclicos ou acíclicos*: Na escala cíclica, os trabalhadores de mesma categoria, realizam as mesmas linhas de trabalho mas iniciando em diferentes horários. Este tipo de escala é utilizado quando os padrões de demanda são repetitivos como nos casos de transporte de passageiros. Nas escalas acíclicas, as linhas de trabalho de um trabalhador e outro, são totalmente independentes. São aplicadas nos casos de demanda flutuante e quando os turnos possuem horário de início e duração diferentes. Geralmente é o modelo aplicado nas centrais telefônicas. Montar uma escala cíclica para todos os trabalhadores pode ser inviável, ainda mais quando se procura atender preferências individuais dos trabalhadores. Para alguns grupos de trabalhadores, ou períodos de tempo, uma escala cíclica pode ser possível;
- *Jornadas*: Quando apenas determinadas seqüências de turnos, um turno por dia, são permitidas. Podem ser representadas por DDNO, onde DD são dois turnos diários seguidos de um turno noturno e uma folga. A construção das linhas de trabalho deve seqüenciar estas jornadas. Podem existir regras para as transições

entre uma jornada e outra. Uma escala construída a partir de jornadas pode ser cíclica ou acíclica. Tipicamente usado na elaboração de escalas de enfermeiros.

O processo de construção das linhas de trabalho varia conforme a unidade de construção utilizada:

- *Turnos*: Qualquer turno pode ser designado a um dia de trabalho. Pode haver restrições quanto ao número de turnos noturnos seguidos, ou um turno noturno seguido de um turno matinal;
- *Deveres*: São os casos em que o tempo de execução da tarefa pode ser maior ou menor que um turno. A tarefa deve ser incluída apenas uma vez na escala;
- *Jornadas de trabalho*: É uma seqüência pré-definida de turnos de trabalho e folgas. Pode estar cobrindo uma agregação de várias tarefas ou apenas seguindo um padrão pré-definido pelas normas da organização.

Para os casos de demanda flexível, esta etapa é conhecida por *Tour Scheduling*. É reduzida a escalonamento de turnos, quando o período da escala é de um dia e, a escalonamento dos dias de folga, quando se trata de um turno por dia.

e) Designação de tarefas (*Task assignment*) - Esta etapa deve ser executada quando os turnos já estão especificados, mas ainda não alocados ao pessoal. As tarefas são agrupadas e designadas a turnos ou trabalhadores, considerando a duração e qualificação exigidas. O método de designação deve considerar particularidades como: se a tarefa tem ou não horário fixo para ser realizada, se há intervalos durante os turnos e se é permitido a realização de hora-extra. Esta fase pode ser tratada junto com a construção das linhas de trabalho;

f) Designação de pessoal (*Staff assignment*) - É a designação de linhas de trabalho a cada pessoa da equipe. Pode ser executado enquanto as linhas de trabalho estão sendo criadas ou após todas linhas estarem prontas. Quando as preferências, disponibilidade e qualificações dos trabalhadores estão sendo tratadas então a designação de pessoal é realizada junto com a criação das linhas de trabalho.

3.2 ÁREAS DE APLICAÇÃO

Os problemas de escala de trabalho são aplicados em muitas áreas, cada qual com suas particularidades. Desde a designação de enfermeiros a turnos em hospitais, de operadores aos caixas de grandes lojas e atendentes a turnos e estações de trabalho em centrais telefônicas (MEISELS e SHAERF, 2003).

O estudo desta classe de problemas iniciou com cabines de pedágio. Desde então, a área de transportes (aéreo, ônibus, trens, transporte de massa, navios, etc) tem sido contemplada em muitas pesquisas, em particular o escalonamento de tripulantes (*crew scheduling* e *rostering*) de companhias aéreas. A principal característica dos problemas desta área é a questão de tempo e espaço. As tarefas são delimitadas por hora e local de início e hora e local de fim. A demanda é definida a partir de tabelas de horários das viagens. O escalonamento de tripulações (motorista e cobrador) para ônibus também tem sido bastante estudado. Para a realidade brasileira encontramos várias pesquisas: Constantino (1997), Souza et al (2003), Marinho et al (2004), Gomes e Neto (2003), Siqueira et al (2004) entre outros. No caso de transportes de massa como trens metropolitanos e barcas (*ferry-boats*) o conceito de tripulação pode se estender ao pessoal da área de segurança. Alguns estudos têm focalizado as equipes que realizam os serviços operacionais dos aeroportos (carga, abastecimento, limpeza das aeronaves, manutenção, atendimento, *catering*) como em Dowling (1997) e também centrais de carga/descarga de caminhões (SARIN e AGGARWAL, 2001).

Tem aumentado o interesse na elaboração de escalas para centrais telefônicas (*call centers*). Estes casos são de demanda flexível, a etapa de modelagem da demanda é essencial para o desenvolvimento das escalas. “Essa variabilidade do número de chamadas no decorrer do dia torna difícil prever com exatidão o número de atendentes necessários a cada período”, Barboza et al (2003).

Outra área contemplada é a de proteção e serviços de emergência, como policiamento, bombeiros e ambulâncias, socorro mecânico nas estradas. A demanda é flexível, existe um padrão aceitável para o tempo de resposta, o tamanho e a capacitação da equipe variam a cada atendimento e ainda a dispersão geográfica da prestação do serviço, tornam estes casos bastante complexos.

São poucas as pesquisas para os serviços públicos oferecidos 24 horas como centrais de distribuição de correios, praças de pedágio, geração e fornecimento de energia, água, gás, militares (SILVA et al, 2004). Com a tendência à privatização destes serviços, a otimização de recursos torna-se mais importante.

Nas instituições financeiras e comércio, a elaboração de escalas deve resolver o atendimento nos horários de maior demanda. Na área da hospitalidade e turismo (hotéis, restaurantes), onde os custos com pessoal são significativos, obter escalas de trabalho eficientes significa economia e atendimento de qualidade aceitável. A complexidade está na demanda flexível, usualmente maior à noite e nos finais de semana, e na versatilidade dos trabalhadores, que podem executar diferentes tarefas. Em Burke e Soubeiga (2003) é tratado um caso para uma empresa organizadora de eventos. Litchfield et al (2003) apresentam uma heurística para a geração de escalas de trabalho para os empregados de um restaurante.

Nas fábricas, a necessidade de mão-de-obra é bastante dinâmica, acompanhando os níveis de produção. A força de trabalho deve ser ajustada freqüentemente para manter as linhas de produção operando eficientemente e assim manter o equilíbrio entre o fornecimento, demanda e estoques.

A área da saúde possui alta complexidade no que diz respeito às escalas de trabalho. São muitas as restrições envolvidas, aliadas ao comprometimento com a qualidade da assistência prestada. Muitos estudos são voltados às escalas de trabalho de enfermeiros (BURKE et al, 2004b, ERNST et al, 2004a, 2004b, MEISELS e SCHAERF, 2003). As escalas devem prover o número de enfermeiros com as qualificações necessárias para cobrir a demanda de pacientes, observando as regulamentações trabalhistas, normas das organizações, distribuição justa do trabalho e das folgas e atendendo o quanto possível as preferências individuais. Enquanto algumas pesquisas (MEISELS e SCHAERF, 2003) têm por objetivo de fornecer uma ferramenta que reduza a necessidade de trabalho manual na elaboração das escalas, outras também objetivam atingir um maior grau de satisfação dos empregados (BURKE et al, 1998).

Outras áreas, para as quais a elaboração de escalas de trabalho é complexa, são: outros profissionais da saúde (médicos, dentistas, radiologistas, etc), trabalhadores de minas e de grandes projetos de construção civil.

CAPÍTULO 4

TÉCNICAS DE SOLUÇÃO

As primeiras publicações que tratam do problema de escalonamento de pessoal surgiram há mais de cinquenta anos. Segundo Ernst et al (2004b), Edie publicou, em 1954, seu trabalho *Traffic Delays at Toll Booths*, onde usou a Teoria das Probabilidades para calcular o número de cabines de pedágio necessárias para atender a demanda em diferentes horas do dia. No mesmo ano, Dantzig comenta o trabalho de Edie e esboça uma solução com o uso da Programação Linear (ERNST et al, 2004b).

As pesquisas realizadas nos anos 60 e 70, tratavam o problema de escalonamento de pessoal como um problema de Programação Linear. Nestes casos é definida uma função objetivo a ser otimizada sujeita a certas restrições. Os problemas reais eram simplificados, visto que são muito complexos para serem “otimizados” (BURKE, 2004a).

Os métodos exatos são impraticáveis quando aplicados a problemas NP - Difíceis. Estes problemas se caracterizam pelo crescimento exponencial do tempo computacional requerido para alcançar uma solução otimizada, com o aumento do tamanho do volume de dados de entrada (SOUBEIGA, 2003).

A evolução dos métodos exatos e das heurísticas, junto com o aumento da capacidade de processamento dos computadores, possibilitou o desenvolvimento de modelos cada vez mais realistas, o que torna os resultados das pesquisas mais aplicáveis comercialmente.

A partir da década de 80, técnicas de Inteligência Artificial têm sido aplicadas, tais como: Algoritmo Genético, cujo conceitos iniciais foram desenvolvidos por Holland em 1975 (REEVES, 1996), *Constraint Programming* e sistemas especialistas.

Os trabalhos mais recentes aplicam as metaheurísticas *Simulated Annealing*, técnica sugerida por Kirkpatrick em 1983 (REEVES, 1996), Busca Tabu (GLOVER, 1989) e algoritmos evolutivos. A combinação de técnicas de Pesquisa Operacional e de Inteligência Artificial incorporando conhecimento específico do problema estruturam as implementações mais bem sucedidas em se tratando de casos reais (BURKE, 2004b).

Segue uma breve descrição de métodos utilizados, e referências destas aplicações, para solucionar problemas de escalonamento, horários e escalas.

4.1 PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA

Os problemas de escalonamento de pessoal são formulados como problemas de Programação Linear ou Programação Linear Inteira, ou ainda, como um problema geral de Programação Matemática, que são métodos baseados na otimização de uma função objetivo. Os métodos exatos não são capazes de tratar o grande número de restrições dos problemas reais, porém apresentam bons resultados quando aplicados a modelos simplificados do problema. São indicados para aplicações onde as regras são alteradas eventualmente. Devido a complexidade gerada para atender às preferências individuais, as soluções baseadas em Programação Matemática não são muito usadas na elaboração de escalas de enfermeiros.

4.1.1 Programação Linear Inteira

A Programação Linear e a Programação Linear Inteira são abordagens bem conhecidas e muito usadas para otimizar objetivos econômicos. Sendo um método exato, tem a capacidade de determinar sempre a solução ótima para o problema. É definido por Hillier (2001) como o “*planejamento de atividades para obter um resultado ótimo entre as alternativas viáveis*”.

As técnicas de solução da Programação Matemática estão agrupadas em áreas como:

- *Programação Linear* - Trata dos casos em que as variáveis assumem valores contínuos e apresentam comportamento linear, tanto nas restrições como na função objetivo;
- *Programação Não-Linear* - Quando um modelo de um problema apresenta não-linearidade na função objetivo ou em alguma das restrições;
- *Programação Linear Inteira* - Neste caso, alguma das variáveis só pode assumir valores discretos. Existem inúmeros problemas de Programação Linear em que as variáveis de decisão devem assumir valores inteiros, por exemplo, quando significam pessoas, objetos, ou outras configurações que perdem o sentido se assumirem valores fracionários. Apenas arredondar um resultado fracionário pode levar a soluções inviáveis. Existem vários métodos para obtenção de solução inteira exata e também soluções aproximativas, como as técnicas de enumeração, de cortes e as híbridas.

4.1.2 Branch-and-Bound

Os esquemas *branch-and-bound* são, normalmente, usados para resolver Programação Linear Inteira. É um método de enumeração inteligente de pontos candidatos à solução ótima inteira de um problema. A idéia básica é “dividir para conquistar”. Uma vez que o problema original seja muito grande para resolver, ele é dividido em subproblemas menores, calculando limites inferiores para a função objetivo em cada um desses subconjuntos e, utilizando essa informação para descartar alguns desses subconjuntos de futuras considerações.

O método efetua partições no espaço de soluções (*branch*). Para cada parte é avaliada o quão boa é a melhor solução obtida e descartada se os limites (*bound*) indicarem que esta parte não pode conter a solução ótima. Esses limites são obtidos pela substituição do problema em questão por um conjunto de subproblemas mais fáceis de serem resolvidos.

O procedimento termina quando cada subconjunto produziu uma solução viável ou quando se demonstra que não é possível encontrar uma solução melhor que uma já encontrada. Ao final do processo, a melhor solução encontrada é a solução ótima.

Um dos pontos de sucesso do *branch-and-bound* é a qualidade do limite gerado. A qualidade alcançada para o limite depende muita da estratégia de divisão (*branch*). Existem duas estratégias de divisão: busca em profundidade e busca em largura, apresentadas na Figura 2.

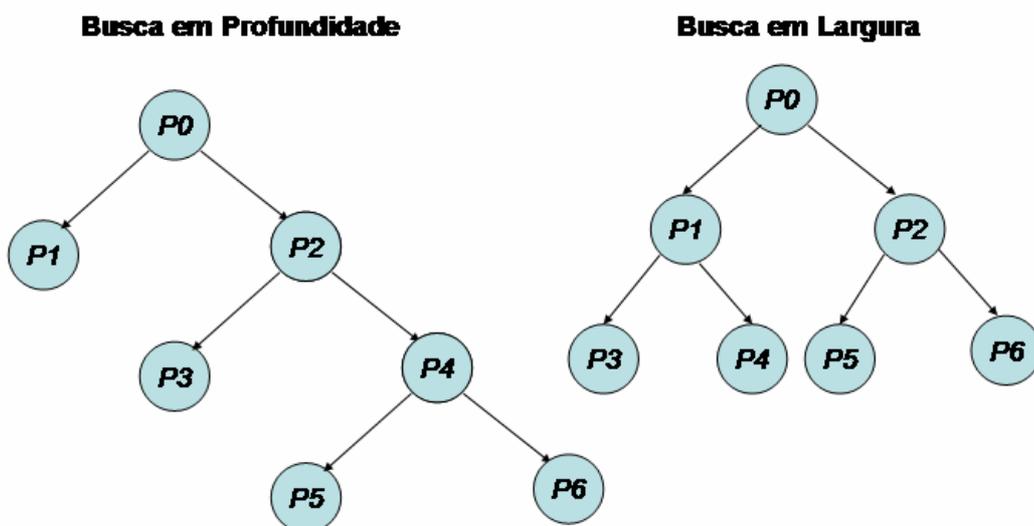


FIGURA 2: Estratégias de divisão.

4.1.3 Geração de Colunas

A Geração de Colunas é uma técnica de Programação Linear, capaz de lidar com problemas de grande número de variáveis para tratar todas explicitamente. É baseada no Princípio de Decomposição de Dantzig e Wolfe da década de 60 (LORENA, PEREIRA e SALOMÃO, 2003). Desde que uma boa parte das variáveis terão valor zero na solução ótima, considera que apenas parte das variáveis precisam ser consideradas para a solução do problema, assim procura variáveis que melhorarão a função objetivo.

Nessa técnica, o problema a ser resolvido é separado em dois: um mestre, também chamado primário e um sub-problema, ou secundário. O problema mestre é o problema principal restrito a um pequeno número de colunas, onde cada coluna representa uma variável de decisão. Resolve-se este problema para obter a solução dual, que será utilizada como coeficiente na função objetivo do sub-problema. O sub-problema é resolvido e se for encontrada uma variável com custo reduzido negativo, esta será adicionada como uma nova coluna no problema mestre que novamente será solucionado e gerará novos valores duais para o sub-problema. Este processo é repetido até não se obter mais variáveis com custo reduzido negativo no sub-problema. Então a solução do problema mestre é a ótima.

4.2 HEURÍSTICAS

Uma estratégia trivial para obtenção de soluções ótimas seria a avaliação de todas as soluções viáveis, enumeração completa, e a escolha daquela que otimiza a função-objetivo. A princípio é possível resolver qualquer problema com este enfoque de enumeração, mas na prática não é aplicado devido ao vasto número de soluções possíveis para qualquer problema de tamanho razoável (REEVES, 1996). O inconveniente dessa estratégia está na chamada explosão combinatória. Tomando por exemplo o problema do Caixeiro Viajante, cujo enunciado é:

Dado um conjunto $\{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ de cidades e uma matriz $n \times n$ de inteiros não negativos d , onde d_{ij} denota a distância entre a cidade c_i e a cidade c_j . Assumimos que $d_{ii} = 0$ e $d_{ij} = d_{ji}$ para todo i, j . Pede-se para encontrar o passeio mais curto pelas cidades (Lewis e Papadimitriou, 2000).

À medida que cresce o número de pontos, ou de cidades, a complexidade do problema aumenta rapidamente. Para acharmos o número $R(n)$ de rotas para o caso de n cidades, basta

fazer um raciocínio combinatório simples. No caso de 4 cidades, a primeira e a última posição são fixas, de modo que elas não afetam o cálculo; na segunda posição podemos colocar qualquer uma das três cidades restantes, e uma vez escolhida uma delas, podemos colocar qualquer uma das duas restantes na terceira posição; na quarta posição não teríamos nenhuma escolha, pois sobrou apenas uma cidade. Conseqüentemente, o número de rotas é $3 \times 2 \times 1 = 6$. Generalizando para o caso de n cidades, como a primeira é fixa, o número total de escolhas é $(n-1) \times (n-2) \times \dots \times 2 \times 1$, usando a notação de fatorial: $R(n) = (n-1)!$. A Tabela 3 apresenta o número de rotas possíveis para 5, 10 e 25 cidades. Podemos depreender o impacto do crescimento exponencial no consumo de recursos computacionais, memória e do tempo de processamento, para a solução de um problema.

TABELA 3: Explosão Combinatória.

Nro. Cidades	Rotas $(n-1)!$
5	24
10	362.880
25	$6,2 \times 10^{23}$

Visto que os métodos exatos são computacionalmente muito dispendiosos, alternativas mais econômicas têm sido procuradas e assim uma grande variedade de heurísticas com alta eficiência tem surgido.

Os métodos heurísticos, por serem aproximativos, não garantem a determinação de soluções ótimas, embora eventualmente as encontrem. Nem sempre é possível determinar o quanto a solução encontrada está próxima da solução ótima.

As heurísticas têm sido utilizadas com bastante sucesso em vários tipos de problemas e costumam fornecer bons pontos de partida para atingir uma melhor solução.

Como as heurísticas são algoritmos específicos para um caso, é preciso ter conhecimento específico do problema, sendo assim, o sucesso está fortemente baseado na experiência de um especialista na área do problema. O desenvolvimento da heurística pode demandar um longo tempo de testes e ajustes até encontrar uma solução realmente satisfatória.

Métodos de Busca Local, ou Busca em Vizinhança, são utilizados para melhorar a qualidade das soluções explorando iterativamente as soluções viáveis na vizinhança da solução corrente. Vizinhança pode ser definida da seguinte maneira: seja S o espaço de pesquisa de um problema de otimização, composto por s soluções, e f a função objetivo a otimizar. O conjunto $N(s) \subseteq S$ representa um conjunto de soluções s' e é denominado

vizinhança de s . Cada solução $s' \in N(s)$ é chamado vizinho de s e é obtido a partir de uma operação m denominada movimento. A busca inicia a partir de uma solução inicial s_0 que pode ter sido gerada aleatoriamente ou através de alguma técnica específica.

Os métodos de busca local simples não utilizam estratégias de visitação de vizinhança como as metaheurísticas. Existem vários métodos de busca local, como por exemplo, o Método de Descida, o Método Randômico de Descida e o Método Randômico não Ascendente. Esses métodos são genéricos e podem ajudar na solução de uma variedade de problemas sem a necessidade de uma compreensão mais profunda acerca do mesmo, mas tendem a ficar presos em ótimos locais.

4.3 METAHEURÍSTICAS

As metaheurísticas são procedimentos computacionais e matemáticos que foram criados inspirados em outras ciências como a física, a biologia, etc. Funcionam como uma estratégia mestre que guia e modifica outras heurísticas para produzir soluções além daquelas que são normalmente geradas por buscas locais (GLOVER e LAGUNA, 1998). Possuem mecanismos para não ficarem presas a ótimos locais. Isto é conseguido por aceitarem movimentos de piora ou por gerarem novas soluções iniciais de forma mais inteligente do que uma geração randômica.

Garantem a obtenção de uma solução boa, nem sempre a ótima, porém, consumindo mais recursos computacionais é possível chegar na solução ótima. Oferecem maior facilidade para incorporar novas restrições sem perda significativa de desempenho.

São generalistas, ou seja, se aplicam a vários tipos de problemas, não apenas para um determinado problema específico. As metaheurísticas, diferenciam-se entre si basicamente pelas seguintes características:

- Critério de escolha de uma solução inicial;
- Definição da vizinhança $N(s)$ de uma solução s ;
- Critério de seleção de uma solução vizinha dentro de $N(s)$;
- Critério de término.

Os tipos de metaheurísticas podem ser divididos em: busca por entorno, relaxação, construtivas e evolutivas. As metaheurísticas de busca por entorno, como a *Simulated Annealing* e a Busca Tabu, percorrem o espaço de busca, considerando a vizinhança como o

conjunto de soluções viáveis do problema atual. Relaxação (ex. Relaxação Lagrangeana) simplifica o problema e utiliza a solução encontrada como guia para o problema original. Metaheurísticas do tipo construtivas (GRASP - *Greedy Randomized Adaptive Procedure*) definem de forma meticulosa o valor de cada componente da solução. Já, as do tipo evolutivas (Algoritmos Genéticos e busca dispersa) trabalham com uma população de soluções que evolui através da interação entre seus elementos.

As técnicas metaheurísticas que serão detalhadas a seguir iniciam a busca da solução ótima a partir de uma solução inicial informada. A avaliação desta solução inicial não precisa ser boa, mas deve ser uma solução viável. Esta solução inicial pode ser construída através de alguma heurística ou aleatoriamente. Em uma aplicação prática, onde já existe um modelo funcionando, pode-se utilizar uma solução já existente.

Os métodos metaheurísticos exploram o espaço de soluções utilizando diferentes estruturas de vizinhança, as quais modificam as soluções através de operações realizadas com suas variáveis.

4.3.1 *Simulated Annealing*

O *Simulated Annealing* (SA) foi sugerido como uma técnica para otimização discreta no início dos anos 80 por Kirkpatrick et al (REEVES, 1996). O *Simulated Annealing* (Recozimento Simulado) é baseado em uma analogia com a termodinâmica e tem como princípio básico a observação física do comportamento da matéria.

O algoritmo emprega uma busca probabilística, que aceita mudanças que decrescem o valor da função objetivo, e também mudanças que aumentam (de acordo com uma certa probabilidade) o seu valor. Porém, a probabilidade de aceitar um tal movimento que aumente, decresce com a temperatura. Ou seja, quanto menor a temperatura, menor a probabilidade de aceitar resultados piores (GOMES e NETO, 2003).

O algoritmo começa gerando uma solução inicial e determinando um valor para um parâmetro T chamado de temperatura. Então repete o processo de busca até alcançar algum critério de parada. Diferentes critérios de parada são adotados: tempo máximo de processamento, número máximo de iterações, quando encontrado um $f(s)$ (valor da função objetivo) menor que um valor predefinido, ou ainda, quando é atingido um número máximo de iterações sem alcançar um melhoramento.

O procedimento principal consiste em um laço que gera aleatoriamente, em cada iteração, um único vizinho s' de uma estrutura de vizinhança $N(s)$ da solução corrente s . A

cada geração de um vizinho s' de s , é testada a variação Δ do valor da função objetivo, isto é, $\Delta = f(s') - f(s)$. Sendo o problema de minimização, se $\Delta < 0$, o método aceita a solução e s' passa a ser a nova solução corrente. Caso ocorra um movimento de piora, $\Delta > 0$, a solução vizinha candidata também poderá ser aceita, mas neste caso, com uma probabilidade $e^{-\Delta/T}$, onde T é a temperatura que regula a probabilidade de aceitação de soluções com pior resultado.

A temperatura T assume, inicialmente, um valor elevado T_0 . Após um número fixo de iterações S_{Max} , o qual representa o número de iterações necessárias para o sistema atingir o equilíbrio térmico em uma dada temperatura, a temperatura é gradativamente diminuída por uma razão de resfriamento α , tal que $T_n = \alpha \times T_{n-1}$, sendo $0 \leq \alpha \leq 1$. Com esse procedimento, dá-se, no início, uma chance maior para escapar de mínimos locais e, à medida que T aproxima-se de zero, o algoritmo comporta-se como o método de descida, diminuindo a probabilidade de se aceitar movimentos de piora.

O procedimento pára quando a temperatura T chega a um valor próximo de zero e nenhuma solução que piore o valor da melhor solução é mais aceita, isto é, quando o sistema está estável. A solução obtida quando o sistema encontra-se nesta situação evidencia o encontro de um mínimo local. Os parâmetros de controle do procedimento são a razão de resfriamento α , o número de iterações para cada temperatura (S_{Max}) e a temperatura inicial T_0 . O pseudocódigo do algoritmo é apresentado na Figura 3.

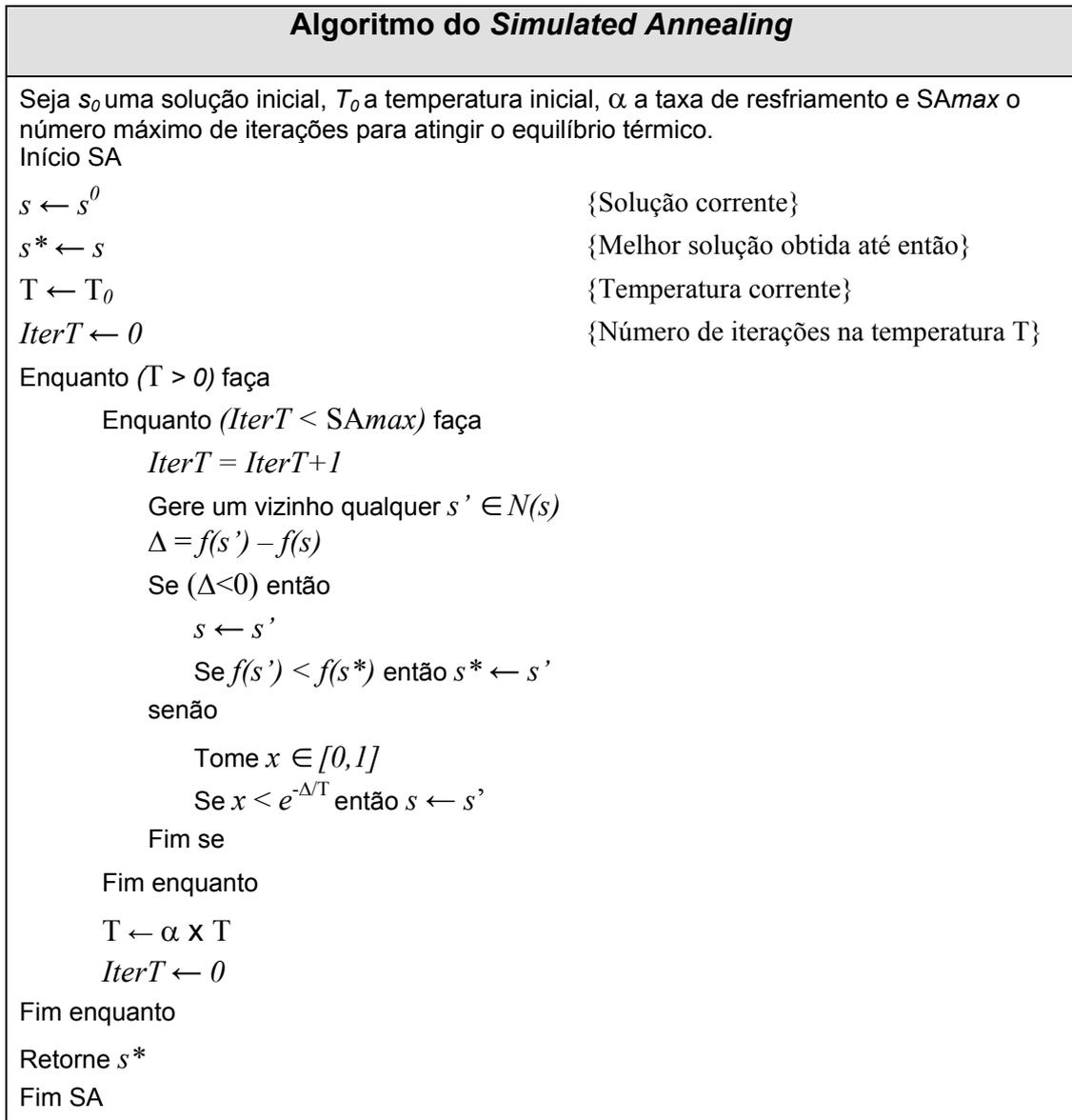


FIGURA 3: Algoritmo do *Simulated Annealing*.

4.3.2 Algoritmos Genéticos

Conforme Reeves (1996), a primeira referência a Algoritmos Genéticos (AG) foi na dissertação de John Holland, "Adaptação em Sistemas Naturais e Artificiais", de 1975. Goldberg, em 1989, aprofunda o assunto no trabalho *Genetic Algorithms in Search*. Logo após, outros artigos e dissertações consolidaram e validaram a técnica. Esta metaheurística é inspirada na metáfora dos mecanismos evolucionários encontrados na natureza. O procedimento envolve a criação, com uma representação que combina dados, de uma

população de indivíduos representando as soluções viáveis. A população é atualizada continuamente pela geração de novos membros da população a partir dos indivíduos existentes e removendo os membros mais fracos usando funções de aptidão. Depois de muitas iterações, o melhor indivíduo na população será, potencialmente a solução ótima, ou próxima da ótima, do problema.

Uma implementação de um AG começa com uma população aleatória de cromossomos, representados normalmente por uma cadeia de *bits*. Essas estruturas são avaliadas e associadas a uma probabilidade de reprodução de tal forma que as maiores probabilidades são associadas aos cromossomos que representam uma melhor solução para o problema de otimização do que aqueles que representam uma solução pior. A aptidão da solução é tipicamente definida com relação à população corrente.

A função objetivo, também chamada de *fitness* ou função de adaptabilidade, permite o cálculo da aptidão bruta de cada indivíduo, que fornecerá o valor a ser usado para o cálculo de sua probabilidade de ser selecionado para reprodução. Nos problemas mais simples é utilizado o valor da função que se quer maximizar. A função objetivo dá, para cada indivíduo, uma medida de quão bem adaptado ao ambiente ele está, ou seja, quanto maior o valor da função objetivo, para problemas de maximização, maiores são as chances do indivíduo sobreviver no ambiente e reproduzir-se, passando parte de seu material genético às gerações posteriores.

De um modo geral, os AGs têm as seguintes características:

- Operam numa população de pontos (conjunto de soluções), e não a partir de um ponto isolado;
- Podem operar num espaço de soluções codificadas, e não no espaço de busca diretamente;
- Necessitam somente de informação sobre o valor de uma função objetivo para cada membro da população;
- Usam transições probabilísticas e não regras determinísticas.

O primeiro passo para aplicação de um algoritmo genético é representar cada possível solução x no espaço de busca como uma seqüência de símbolos s gerados a partir de um dado alfabeto finito A . No caso mais simples, é utilizado o alfabeto binário $A = \{0,1\}$, mas tanto o método de representação quanto o alfabeto genético podem variar conforme o problema. Cada seqüência s corresponde a um cromossomo, e cada elemento de s é equivalente a um gene.

Cada gene pode assumir qualquer valor do alfabeto A , assim cada elemento de A é equivalente a um alelo, ou seja, um valor possível para um dado gene.

Definida a representação cromossômica para o problema, é gerado um conjunto de possíveis soluções, chamadas de soluções candidatas. Um conjunto inicial de soluções codificadas de acordo com a representação selecionada corresponde a uma população de indivíduos, $P(0)$.

Algoritmos Genéticos são algoritmos iterativos, e a cada iteração a população é modificada. Cada iteração de um AG é denominada uma geração, embora nem todos os indivíduos de uma população sejam necessariamente “filhos” de indivíduos da população na iteração anterior. Denotando cada geração por um índice t , o fluxo geral de um AG pode ser representado pela seqüência $(0, 1, \dots, t-1, t, t+1, \dots)$.

O fluxo básico de um algoritmo genético simples, com três operadores genéticos: seleção, recombinação e mutação, é ilustrado na Figura 4.

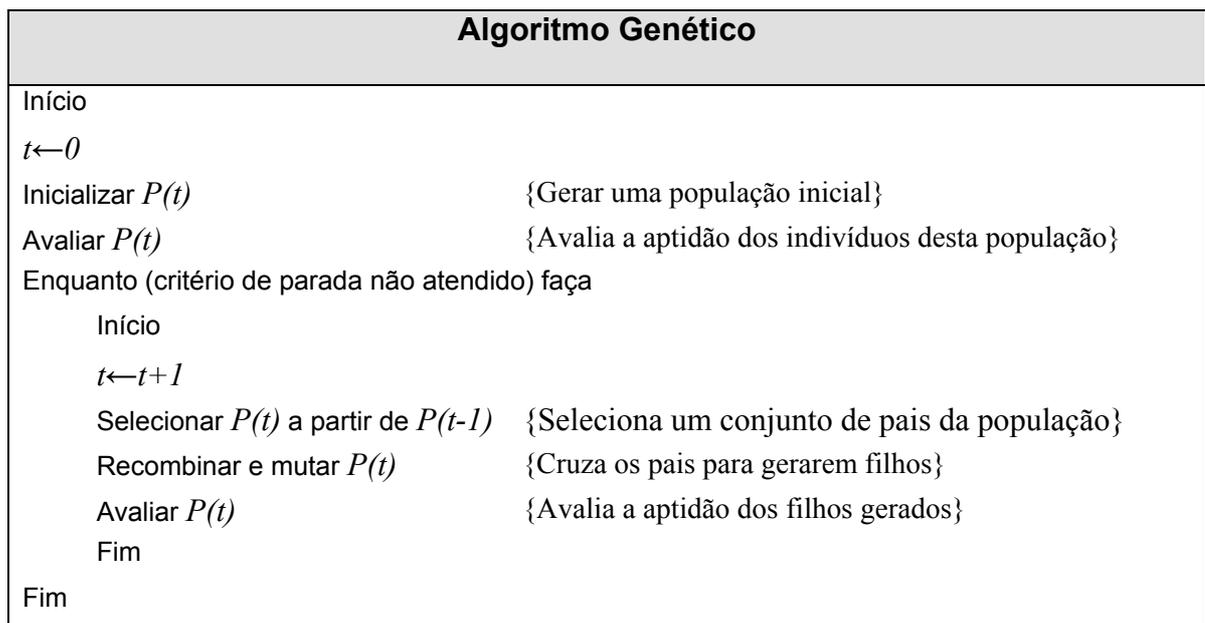


FIGURA 4: Fluxo básico de um Algoritmo Genético.

Usualmente, a população inicial é gerada aleatoriamente ou através de alguma heurística. Como no caso biológico, não há evolução sem diversidade. Ou seja, a teoria da seleção natural ou “lei do mais forte” necessita que os indivíduos tenham diferentes graus de adaptação ao ambiente em que vivem. Desta forma é importante que a população inicial cubra

a maior área possível do espaço de busca, com um maior número de soluções, sem importar se são viáveis ou não.

Como os AGs tratam de problemas de otimização, o ideal seria que o algoritmo terminasse assim que uma solução ótima fosse descoberta, mas raramente é possível afirmar que uma determinada solução corresponde a um ótimo global. Como critério de parada, normalmente é utilizado o critério do número máximo de gerações. Outros critérios plausíveis são: um tempo limite de processamento ou quando, depois várias gerações consecutivas, não se observa melhoria na população.

Os operadores genéticos são as regras que permitem a manipulação dos indivíduos da população (cromossomos). A operação de *crossover*, ou cruzamento ou recombinação, é um processo sexuado, ou seja, envolve mais de um indivíduo. Permite a obtenção de filhos a partir da troca de fragmentos de cromossomos dos pais. Existem vários modos de realizar este cruzamento. A operação de mutação cria um novo indivíduo por alteração nos cromossomos de um pai ou filho. Basicamente, é selecionada uma posição num cromossomo e o valor do gene é alterado. A Figura 5 exemplifica estas operações.

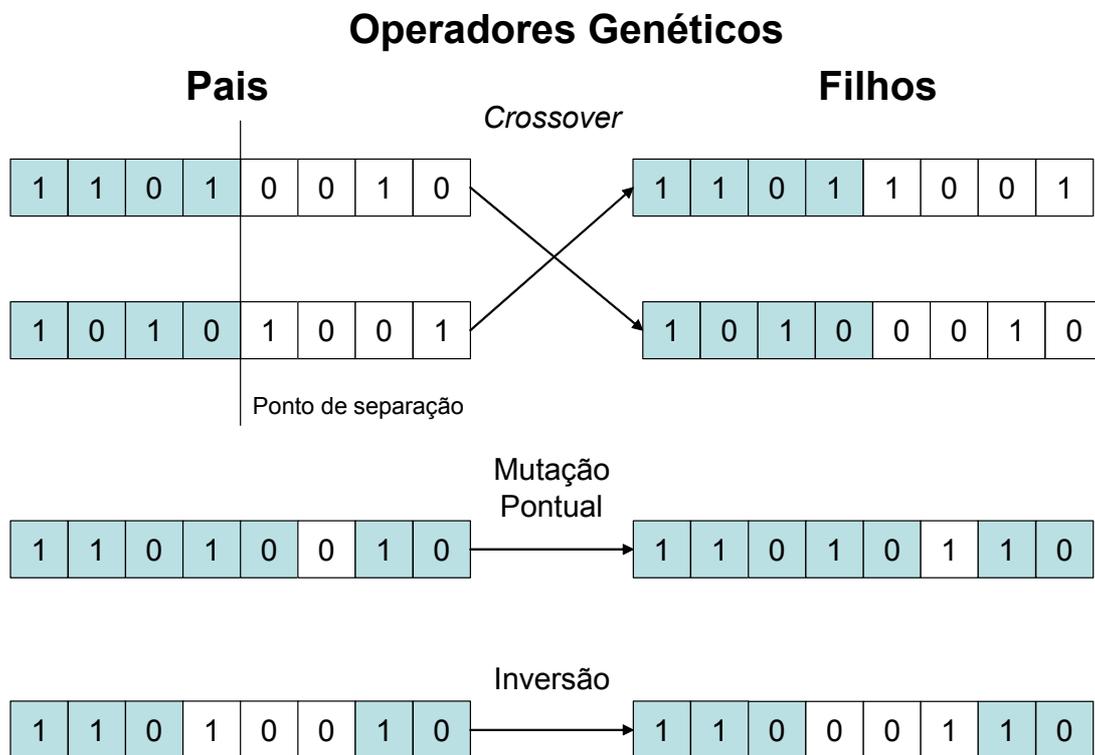


FIGURA 5: Operadores genéticos.

Os principais parâmetros de controle deste método são o tamanho da população, a probabilidade de ocorrer um *crossover* e a probabilidade de ocorrer uma mutação.

Os Algoritmos Genéticos têm sido utilizados na solução de problemas de escalonamento de pessoal, subproblemas e variantes, especialmente escalas de trabalho de enfermeiros e tripulações de ônibus (ERNST et al, 2004a). Alguns pesquisadores estão refinando seus estudos e migrando para algoritmos meméticos como Burke et al (2001a) e Özcan (2005).

Os algoritmos meméticos usam o conceito de evolução cultural, ou seja, a adaptabilidade do indivíduo pode ser modificada sem tomar por base sua carga genética. O efeito da ação cultural é realizado pelo uso de técnicas de busca local para aperfeiçoar o cromossomo. Por ser memética, a alteração do genoma ocorre sem ser pelos mecanismos de *crossover* e mutação. As melhorias obtidas pela busca local são herdadas pelas futuras gerações, processo chamado de evolução “Lamarckiana”. Estes algoritmos podem ser considerados uma forma híbrida dos algoritmos genéticos.

4.3.3 Busca Tabu

A Busca Tabu (BT) foi inspirada na sociologia. A expressão Tabu é originada na língua nativa da ilha de Tonga na Polinésia e significa coisas que não podem ser tocadas, pois são sagradas. No dicionário Webster encontra-se a definição “proibições impostas pelos costumes sociais como medidas de prevenção”. O algoritmo classifica certos movimentos da vizinhança como tabu, proibindo-os. Porém, assim como na sociedade, se for conveniente, o tabu pode ser quebrado. Segundo Costa (1994), é um dos métodos mais eficientes para tratar grandes problemas de otimização.

O método de Busca Tabu (GLOVER, 1989) é um procedimento iterativo para a solução de problemas de otimização combinatória, que aceita movimentos de piora para escapar de ótimos locais. Uma característica marcante é o uso de estruturas de memória de curto e longo prazo para determinar a vizinhança e organizar a busca.

A BT inicia a busca de uma solução melhor a partir de uma solução inicial informada. A avaliação desta solução inicial não precisa ser boa, mas deve ser uma solução viável. Esta solução inicial pode ser construída através de alguma heurística ou aleatoriamente. Em uma aplicação prática, onde já existe um modelo funcionando, pode-se utilizar uma solução já existente.

Começando com uma solução inicial s_0 , a cada iteração é explorado um subconjunto V da vizinhança $N(s)$ da solução corrente s . O membro s' de V com melhor valor, segundo a função de avaliação (função objetivo) f , torna-se a nova solução corrente, mesmo que s' seja pior que s . Este critério de escolha é utilizado para escapar de um ótimo local.

Para evitar que o algoritmo retorne a uma solução gerada anteriormente e fique preso em um ótimo local, existe um mecanismo de memória de curto prazo chamado de lista tabu T . A lista Tabu clássica mantém os movimentos reversos aos últimos $|T|$ movimentos realizados e funciona como uma fila de tamanho fixo e disciplina FIFO (*first in - first out*). Portanto, o objetivo dessa lista é tentar evitar movimentos que levem a regiões já visitadas do espaço de soluções, o que é implementado pela proibição dos últimos movimentos realizados. Esses movimentos são armazenados nesta lista e permanecem proibidos, com estado tabu, por um dado número de iterações, chamado *tabu tenure*. Assim, na exploração do subconjunto V da vizinhança $N(s)$ da solução corrente s , ficam excluídos da busca os vizinhos s' que são obtidos de s por movimentos m que constam na lista tabu.

A lista tabu reduz o risco do algoritmo ficar repetindo ciclos, porém também pode proibir movimentos para boas soluções que ainda não foram visitadas. Assim, existe uma função de aspiração, que é um mecanismo que retira, sob certas circunstâncias, o estado tabu de um movimento. Mais precisamente, para cada possível valor v da função de avaliação existe um nível de aspiração $A(v)$: uma solução s' em V pode ser gerada se $f(s') < A(f(s))$, no caso de minimização, mesmo que o movimento m esteja na lista tabu. Considerando uma função de avaliação de valores inteiros, um simples exemplo é considerar $A(f(s)) = f(s^*)$ onde s^* é a melhor solução encontrada até então. Neste caso, aceita-se um movimento tabu somente se ele conduzir a um vizinho melhor que s^* .

O algoritmo Busca Tabu emprega dois critérios de parada do procedimento:

- Realização do número máximo de iterações sem melhora no valor da melhor solução;
- Aproximação da melhor solução a um limite conhecido. Este critério evita a execução desnecessária do algoritmo quando uma solução ótima, ou uma suficientemente boa, for encontrada.

A Figura 6 apresenta o algoritmo de Busca Tabu clássico. Os parâmetros principais do método são o tamanho $|T|$ da lista, a cardinalidade do conjunto V de soluções vizinhas

testadas em cada iteração, a função de aspiração A e o número máximo de iterações sem melhora no valor da melhor solução, $BTmax$.

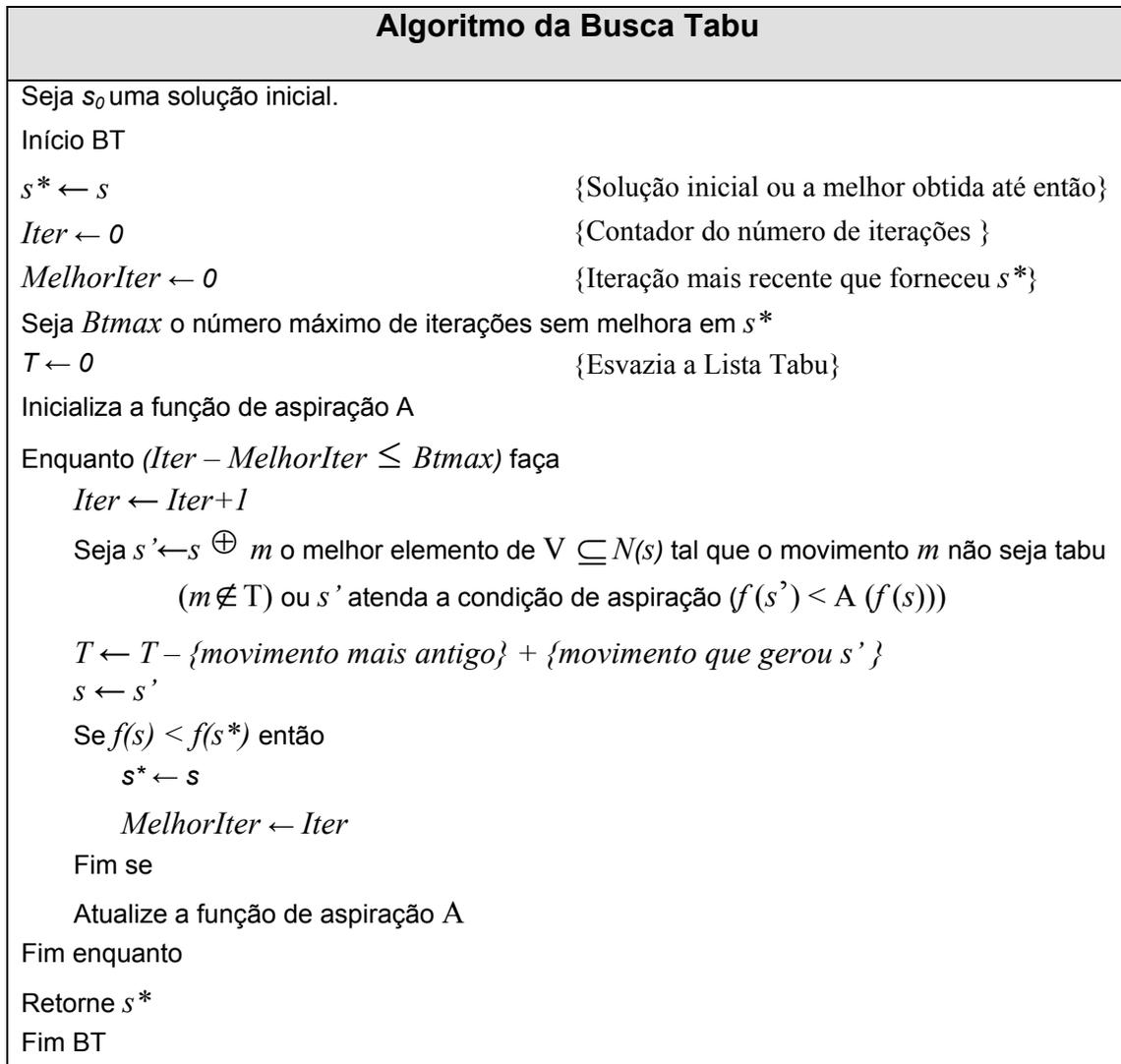


FIGURA 6: Algoritmo clássico da Busca Tabu.

Existem variações do método de Busca Tabu. Uma delas considera a lista tabu de tamanho dinâmico atualizada de acordo com o progresso da pesquisa. A grande vantagem de usar uma lista tabu de tamanho dinâmico é que se minimiza a possibilidade de ocorrência de ciclagem.

4.3.4 Estratégias de Busca

As metaheurísticas precisam ser especificamente adaptadas ao problema em que estão sendo aplicados para obter melhores resultados, seja na solução final obtida ou no aceleração do processo de busca.

Esta adequação pode ser implementada nas estratégias de diversificação e intensificação do processo de busca.

O termo investigar se refere à capacidade da metaheurística de saltar, a passos largos, de uma região para outra no espaço de busca. A investigação é conduzida por estratégias de diversificação, que direcionam a busca para regiões pouco exploradas, buscando varrer todo o espaço de solução. Estas estratégias, que utilizam uma memória de longo prazo, procuram gerar soluções com atributos significativamente diferentes dos encontrados nas melhores soluções obtidas. A diversificação é utilizada somente em determinadas situações, como, por exemplo, quando para uma solução s , não existem movimentos de melhora para ela, indicando que o algoritmo já exauriu a análise naquela região. Para escapar dessa região, a idéia é estabelecer uma penalidade para o uso desses movimentos. Um número fixo de iterações sem melhora no valor da solução ótima corrente é, em geral, utilizado para acionar essas estratégias.

Já o termo exploração reflete a capacidade em explorar de forma mais intensa uma mesma região dentro do espaço de busca. A exploração, também chamada de intensificação, tem por objetivo concentrar a pesquisa em determinadas regiões consideradas promissoras. Uma estratégia típica é retornar às soluções já visitadas para explorar sua vizinhança de forma mais efetiva. Outra estratégia consiste em incorporar atributos das melhores soluções já encontradas durante o progresso da pesquisa e estimular componentes dessas soluções a tornarem-se parte da solução corrente. Um critério de término, tal como um número fixo de iterações, é utilizado para encerrar o período de intensificação.

Em resumo, o que existe são dois processos de busca, um externo, a investigação, e outro interno, a exploração. Estes procedimentos merecem muita atenção, pois deles depende a eficiência do processo de busca.

4.3.5 Estruturas de Vizinhança

Os métodos metaheurísticos utilizam diferentes estruturas de vizinhança para representar o espaço de soluções. Este é explorado através de operações que modificam as soluções.

Dada uma solução inicial s_0 , para atingir uma solução vizinha s' são aplicados três tipos de movimentos: Realocação, Troca e Link, conforme a Figura 7. Desta forma obtém-se três estruturas diferentes de vizinhança, respectivamente $NR(s)$, $NT(s)$, $NL(s)$.

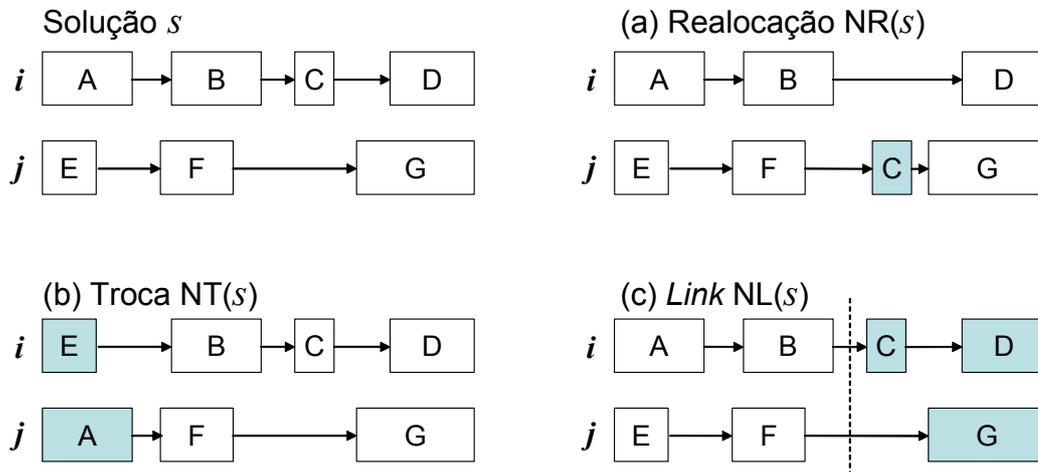


FIGURA 7: Estruturas de Vizinhança.

Considerando que uma solução seja uma seqüência de resultados temos que as soluções i e j são compostas pelos resultados representados por A até G. O movimento de realocação (a) consiste em realocar um resultado (C) de uma solução para outra. O conjunto de todos os vizinhos gerados a partir de movimentos de realocação define a estrutura de vizinhança $NR(s)$.

O movimento de troca consiste na permuta de resultados entre duas soluções distintas como pode ser visto em (b). Os resultados A e E são trocados entre as soluções i e j . O conjunto de todos os vizinhos gerados a partir de movimentos de troca define a estrutura de vizinhança $NT(s)$.

Por último, o movimento de Link consiste na troca de um conjunto de resultados entre duas soluções distintas i e j . Conforme ilustrado em (c), a partir de uma solução s define-se um ponto de corte em uma das soluções, a partir do qual os blocos de resultados serão trocados. O conjunto de todos os vizinhos de s , gerado a partir de movimentos do tipo Link define a estrutura de vizinhança $NL(s)$.

4.3.6 Hibridização

Trata-se da combinação de técnicas para se obter melhores resultados. Segundo Blum e Roli (2003), existem diferentes formas de hibridização: usar componentes de um método em outro, ou a chamada Busca Cooperativa, onde vários algoritmos trocam informações entre si. Também é utilizada a integração de métodos exatos e métodos aproximativos, por exemplo, um método exato incompleto complementado com uma heurística.

Uma solução híbrida pode se aproveitar da capacidade de uma heurística específica para tratar um problema, combinada com o potencial das metaheurísticas.

Um exemplo de combinação: as metaheurísticas Busca Tabu, *Simulated Annealing* e Algoritmos Genéticos têm seu sucesso dependente da qualidade da solução inicial. A metaheurística GRASP é um procedimento iterativo de duas fases, cuja primeira fase tem o objetivo de construir uma boa solução inicial para a segunda fase, que trata da busca local na vizinhança da solução construída. Em (BELLANTI et al, 2004) foi implementado uma fase de construção da solução inicial com GRASP e a segunda fase com a Busca Tabu, obtendo bons resultados tanto na qualidade da solução quanto ao tempo de processamento.

As pesquisas estão se voltando ao uso de técnicas híbridas, como em Burke et al (1998, 2001a). Estas têm apresentado ótimos resultados, pois exploram as vantagens de cada método aplicado.

CAPÍTULO 5

TRABALHOS RELACIONADOS

Há um grande interesse em boas soluções para o problema de escalonamento de pessoal. Como poderemos ver, muitos modelos e enfoques diferentes têm sido propostos, devido às diferenças existentes entre as organizações. Pela importância e as dificuldades do trabalho na área da saúde, muitas pesquisas são direcionadas para esta indústria.

5.1 PESQUISAS SOBRE ESCALAS DE TRABALHO

A complexidade gerada pelas preferências individuais, um aspecto muito importante na avaliação das escalas de trabalho, faz com que técnicas mais sofisticadas que a Programação Matemática sejam usadas. Muitas heurísticas têm sido desenvolvidas, e mais recentemente, abordagens de solução com metaheurísticas têm sido aplicadas.

A metaheurística *Simulated Annealing* é aplicada por (DOWLING et al, 1997) num caso de elaboração de escalas de trabalho para o pessoal de terra de um grande aeroporto. A ferramenta desenvolvida oferece facilidades para a inclusão e alteração das restrições.

Em 1998, Jaumard et al. Apresentaram um modelo genérico de Programação Linear Binária, para um problema real de geração de escalas de trabalho de enfermeiros que satisfazem a demanda de cobertura minimizando custos com salários, atendendo ao máximo as preferências dos trabalhadores e balanceando a distribuição de trabalho. O modelo consiste de um problema mestre que, usando geração de colunas, encontra as escalas individuais que satisfazem os objetivos e restrições gerais e um problema auxiliar, resolvido com *branch-and-bound* para obter as escalas que atendem as preferências individuais. Os testes foram realizados na elaboração de uma escala para 41 enfermeiros num período de seis semanas separado em blocos de duas semanas. Os autores apontam a flexibilidade como uma grande vantagem deste modelo em relação ao enfoque heurístico.

Dowland (1998) aplica a Busca Tabu com oscilações estratégicas para encontrar soluções viáveis no espaço de busca definido pelas restrições de cobertura. Também visa atender ao máximo às preferências dos enfermeiros. Resulta em escalas semanais para um grande hospital e considera o uso de trabalhadores temporários para atender a demanda.

Também em 1998, é proposto (BURKE et al, 1998) um algoritmo Busca Tabu híbrido combinado com duas heurísticas baseadas nas técnicas manuais de elaboração de escala de

trabalho de enfermeiros. A ferramenta desenvolvida verifica a demanda de profissionais por categoria e por tarefas. Na elaboração da escala de serviço considera as preferências pessoais como a restrição de maior peso. O aumento do tempo de cálculo é compensado pela alta qualidade da escala obtida.

As metaheurísticas Busca Tabu, *Simulated Annealing* e duas versões de Algoritmos Genéticos, com e sem busca local, foram testadas por Colomi et al (1998) na resolução de um problema de construção de horários para uma escola. Foi aplicada uma função objetivo de estrutura hierárquica, que calcula o custo que representa a diferença entre o horário obtido e um horário considerado ideal. Os melhores resultados foram obtidos pela Busca Tabu seguido do Algoritmo Genético com Busca Local.

Schaerf (1999) enfoca o problema da Grade Horária Escolar e apresenta os modelos matemáticos de suas variantes: escolas, universidades e horários de exames. O problema a ser tratado pode ainda ser classificado como um problema de busca, se desejado encontrar qualquer grade horária que satisfaça todas as restrições, ou de otimização, quando existe o objetivo de minimizar ou maximizar o resultado. O autor aponta outros problemas de escalonamento que possuem características comuns com o problema de Grade Horária Escolar, tais como: a grade horária de jogos de um campeonato esportivo, os horários de serviço de uma rede de transporte e ainda o *job shop scheduling*. Soluções que tratam destes problemas podem ser aplicados também ao problema da Grade Horária Escolar e vice-versa.

Chun et al (2000) aplicaram Programação de Restrições da área de Inteligência Artificial no desenvolvimento de um componente que gera escalas de trabalho de enfermeiros. O problema foi modelado como um problema de satisfação de restrições (CSP) com suas variáveis, domínios e as restrições de como estes domínios podem ser designados às variáveis. Este componente integra o sistema SRS (*Staff Rostering System*) que gera as escalas para cerca de 1500 enfermeiras.

Devido à alta dependência da solução inicial apresentada pela aplicação de uma Busca Tabu híbrida, Burke et al (2001^a) apresentaram outra proposta que aplica Busca Tabu, Busca Tabu híbrida e Algoritmos Genéticos criando um algoritmo Memético. Esta solução demanda maior tempo de execução, mas solucionou a dependência dos dados iniciais e os resultados são significativamente melhores que os melhores resultados obtidos pela Busca Tabu híbrida.

O estudo de Sarin e Aggarwal (2001) para o escalonamento de trabalhadores de uma central de carga e descarga de caminhões resultou em uma solução de Programação Matemática híbrida, baseada em Geração de Colunas e na solução do *Set Covering Problem*.

Na comparação das metaheurísticas Busca Tabu e *Simulated Annealing* para resolver um problema de alocação de salas de aula, Souza et al (2002) concluem que uma solução híbrida de três fases proporciona melhores resultados. Inicialmente é gerada uma solução inicial por um algoritmo parcialmente guloso, após esta escala é submetida à metaheurística *Simulated Annealing* e a solução final dessa fase é refinada pelo algoritmo de Busca Tabu.

Um caso de alocação de pessoal para uma empresa de organização de eventos, onde várias equipes estão geograficamente separadas e pode haver deslocamento de pessoas de uma equipe para outra a fim de garantir a cobertura necessária, foi tratado por Burke e Soubeiga (2003) como um problema de Transporte.

Uma solução é apresentada por Barboza et al (2003) para a elaboração e designação de jornadas de trabalho em uma central telefônica. O problema foi dividido em três subproblemas e cada qual resolvido com um método específico. A determinação do número de atendentes necessários foi feita através de uma simulação da central telefônica. Um modelo de Programação Inteira foi utilizado para a determinação do número de jornadas de trabalho. E para a designação das jornadas de trabalho aos atendentes aplicaram um algoritmo de *Matching* de Peso Máximo.

Em 2003, Kotsko et al utilizaram Programação Linear Inteira Binária para a construção de horário escolar. Na construção do modelo foram utilizadas restrições correspondentes às exigências administrativas, disponibilidades dos professores, preferências dos professores e restrições para assegurar uma aula por turma e uma aula por professor em um mesmo horário.

Siqueira et al (2004) apresentam uma proposta diferenciada que aplica o Algoritmo do *Matching* de Peso Máximo ponderado nas três fases da construção de jornadas de trabalho para motoristas e cobradores de ônibus até a designação das jornadas aos funcionários. As fases são a formação das jornadas diárias de trabalho, a designação de jornadas de dias úteis para as jornadas de fim de semana e a designação de jornadas semanais aos funcionários. A divisão em fases viabilizou o processamento e ainda facilita a alteração das restrições. As soluções nem sempre são ótimas globais e apesar de ser utilizado um método exato os resultados obtidos são aproximados.

Para resolver o problema de escalas de trabalho de serviço de guarda para militares, Silva et al (2004) utilizaram um modelo de Programação Linear Inteira Binária.

Gavião et al (2005) sugere para resolução do Problema de Escalonamento de Pessoal em empresas de transporte a divisão em cinco subproblemas e resolução de cada um de modo que haja baixa interação entre eles. Cada etapa é modelada de uma maneira específica, sendo

usados cobertura de conjuntos, teoria dos grafos e Programação Linear (problema de atribuição). Desta forma o modelo apresenta maior flexibilidade e conseqüentemente uma melhor adequação a situações reais.

Outra proposta, aplicando algoritmos Meméticos para a elaboração de escalas de trabalho para enfermeiros, é apresentada por Özcan (2005).

5.2 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Nesta seção são apresentadas duas formulações genéricas para o problema de escalas de trabalho. Enquanto a primeira é proposta para um caso de teste padrão, a segunda formulação é mais abrangente, representando todas as informações envolvidas na elaboração de escalas de trabalho.

O modelo apresentado por Meisels e Schaefer (2003) para o problema de horários de trabalhadores é baseado no conceito de designação de trabalhadores a tarefas em turnos com horários de início e de fim determinados. Os autores dividem as restrições em obrigatórias (*hard*), que devem ser sempre satisfeitas, e desejáveis (*soft*), que estão associadas a uma penalidade. O modelo apresentado considera apenas as restrições obrigatórias, objetivando encontrar qualquer solução viável e não uma solução ótima.

Considerando m trabalhadores E_1, \dots, E_m , n turnos S_1, \dots, S_n e t tarefas T_1, \dots, T_t , o objetivo é encontrar uma matriz binária tridimensional X $m \times n \times t$, tal que $x_{ijk} = 1$ se o trabalhador E_i está designado a tarefa T_k no turno S_j .

As restrições obrigatórias podem ser classificadas em um dos seguintes grupos:

- a) *Requisitos*: cada turno S_j é composto por tarefas, sendo que uma tarefa pode ocorrer várias vezes. Um trabalhador deve ser designado a cada tarefa do turno S_j . É representado por uma matriz de Requisitos R $n \times t$, inteira e não-negativa, onde R_{jk} representa o número de ocorrências da tarefa T_k no turno S_j , que corresponde ao número de empregados distintos que devem ser designados à tarefa T_k no turno S_j ;
- b) *Qualificações*: Cada empregado possui qualificações que os habilitam a desempenhar certas tarefas, ou seja, cada empregado E_i tem um conjunto de tarefas $\{T_{i1}, \dots, T_{ir}\}$ para as quais pode ser designado. A matriz de qualificações Q $m \times t$ é binária e $Q_{ik} = 1$ se o empregado E_i está habilitado para a tarefa T_k , senão $Q_{ik} = 0$;

- c) *Disponibilidade*: Os empregados podem ter restrições quanto a trabalhar em alguns turnos. Isto é representado por uma matriz de disponibilidade A $m \times n$, onde $A_{ij} = 1$ se o empregado E_i está disponível para o turno S_j , senão $A_{ij} = 0$;
- d) *Conflitos*: Os empregados não podem ser designados a dois turnos de forma que gere conflito. Este conflito pode ser definido por regras organizacionais ou do contrato de trabalho do empregado. Por exemplo, dois turnos subseqüentes, ou duas noites seguidas. Os conflitos são representados por uma matriz binária, tridimensional, C $n \times n \times m$, onde $C_{j_1 j_2 i} = 0$ se o empregado E_i não pode ser designado aos turnos S_{j_1} e S_{j_2} ;
- e) *Carga de trabalho*: Cada empregado deve cumprir uma carga de trabalho limitada por um número mínimo e um máximo de tarefas por turnos. Pode haver limites de números de tarefas diferenciados por turno. Assim, é necessário definir um conjunto de conjuntos de turnos G_1, \dots, G_s , cada qual agrupando turnos com os mesmos limites. São definidas duas matrizes inteiras, V $m \times s$ e W $m \times s$ tal que o empregado E_i deve ser designado ao mínimo a V_{ik} e ao máximo a W_{ik} turnos do grupo G_k .

Não foi definida uma função objetivo, o problema a ser resolvido é encontrar alguma designação x_{ijk} que satisfaça todas as restrições apresentadas acima e cuja formulação matemática é dada por:

$$\sum_{i=1}^m x_{ijk} = R_{jk}, \quad (j = 1, \dots, n; k = 1, \dots, t), \quad (5.1)$$

$$x_{ijk} \leq Q_{ik}, \quad (i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; k = 1, \dots, t), \quad (5.2)$$

$$x_{ijk} \leq A_{ij}, \quad (i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; k = 1, \dots, t), \quad (5.3)$$

$$\sum_{k=1}^t x_{i j_1 k} \sum_{k=1}^t x_{i j_2 k} \leq c_{j_1 j_2 i}, \quad (i = 1, \dots, m; j_1, j_2 = 1, \dots, n), \quad (5.4)$$

$$V_{ih} \leq \sum_{j \in G_h} \sum_{k=1}^t x_{ijk} \leq W_{ih}, \quad (i = 1, \dots, m; h = 1, \dots, s). \quad (5.5)$$

Onde:

- i Representa um empregado.
- j Indica um turno de trabalho.
- k É uma tarefa.
- x_{ijk} É a variável binária cujo valor 1 indica se o empregado i está alocado a tarefa k no turno j , 0 caso contrário.
- m Representa o número de empregados.
- n Indica o número de turnos.
- t Indica o número de tarefas.
- s É o número de conjuntos de turnos de mesmo limite de carga de trabalho.
- R_{jk} representa o número de empregados que devem ser designados à tarefa T_k no turno S_j .
- Q_{ik} Matriz binária cujo valor 1 indica que o empregado i está qualificação para a tarefa k , 0 caso contrário.
- A_{ij} Matriz binária cujo valor 1 indica que o empregado i está disponível para o turno j , 0 caso contrário.
- $C_{j_1, j_2, i}$ Matriz que associa turnos de trabalho conflitantes.
- V_{ik} Matriz inteira com o número mínimo de turnos em que o empregado i deve ser alocado.
- W_{ik} Matriz inteira com o número máximo de turnos em que o empregado i deve ser alocado.

A variável binária x_{ijk} assume o valor 1 se o empregado i está alocado para a tarefa k no turno j . A restrição (5.1) garante que o número de empregados necessários para a tarefa k no turno j está sendo atendido. A restrição (5.2) assegura a qualificação do empregado para a tarefa. A restrição (5.3) assinala a matriz de disponibilidade dos empregados. A garantia de que não haverá conflito de turnos é dada pela restrição (5.4). Finalmente, a restrição (5.5) limita a carga de trabalho por um número mínimo e um máximo de tarefas.

Em (BLÖCHLIGER, 2004) é apresentado um modelo completo para o problema de escalonamento de pessoal representando todas informações que podem estar envolvidas na elaboração de escalas de trabalho. Algumas informações são essenciais ao problema, outras representam as restrições e os objetivos que variam a cada caso sendo modelado. Segundo o

autor, na modelagem de um problema de escalonamento de pessoal podemos encontrar as seguintes variáveis:

- *Itens* – São os objetos que desejamos escalonar. Cada item só pode estar em um lugar a cada tempo. Possui uma identificação própria e pode conter outras informações, como um profissional e suas qualificações. No modelo está representado como s ;
- *Blocos de tempo* – É um período de tempo em que um item pode ser escalonado. Tem uma hora de início e de fim e pode ter um custo associado, por exemplo, um turno de trabalho. Será representado por b ;
- *Trabalho* – Quantos itens são necessários num bloco de tempo. No caso de escalonamento de pessoal esta variável pode indicar o número de enfermeiros de certa qualificação necessárias em um turno. No modelo está indicado por j ;
- *Custo* – Pode variar conforme a designação de um item a um bloco de tempo. C_{sb} identifica o custo de associar o item s ao bloco de tempo b ;
- *Variável de decisão* – A solução de um problema de escala é a designação de blocos de tempo diferentes a cada item. Pode ser representada por um conjunto de variáveis binárias com a seguinte notação:

$$x_{sb} = 1 \text{ se o item } s \text{ está designado ao bloco de tempo } b,$$

$$x_{sb} = 0 \text{ caso contrário.}$$

X representa o conjunto de todas as variáveis de decisão. Quando todas variáveis de decisão estão definidas, X representa a solução inteira.

São vários os tipos de restrições que podem estar envolvidos em um problema de escalonamento. A classificação destas restrições auxilia na identificação e formulação encontradas na modelagem de um problema de escalonamento de pessoal:

- *Obrigatórias (hard)* – são restrições que obrigatoriamente devem ser cumpridas, como, por exemplo, a premissa básica que um trabalhador não pode estar em mais

de um lugar ao mesmo tempo. Para um item s a restrição obrigatória pode ser formulada como

$$\sum_{b \in B^*} x_{sb} \leq 1, \quad \forall B^* , \quad (5.6)$$

onde B^* representa blocos de tempo que se sobrepõem ao longo do tempo. A inequação (5.6) indica que ao máximo um bloco de tempo sobreposto pode ser selecionado, uma vez que a variável x_{sb} só pode assumir valor 0 ou 1;

- *Desejáveis (soft)* – Podem ser violadas sem inviabilizar a solução. Geralmente são associadas a uma função penalidade f_c para cada restrição desejável c e um limite máximo de tolerância da violação m_c . Sendo assim, f_c possui o valor zero se a restrição é totalmente atendida e aumenta de valor de acordo com o aumento da violação. O objetivo é encontrar uma solução X tal que $f_c(X) < m_c$ para cada restrição c e que a soma de todas as penalidades, C_{soft} , tenha o menor valor possível;
- *Seqüências* – São restrições obrigatórias usadas para impor restrições de seqüências de blocos de tempo. Para cada bloco de tempo b é associado um conjunto de blocos de tempo T_b que podem suceder b . Restrições de seqüência podem ser formuladas como segue:

$$\sum_{b' \in T_b} x_{sb'} \geq x_{sb}, \quad \forall b, s , \quad (5.7)$$

A inequação (5.7) significa que se o item s é designado ao bloco de tempo b , então $x_{sb} = 1$, no mínimo um bloco de tempo de T_b deve ser designado a s . A soma será igual ou maior que 1;

- *Contagem* – Podem ser modeladas como restrições desejáveis definindo uma função de avaliação apropriada. Permitem contar diferentes situações em um

período de tempo, como o número de folgas em uma semana. Existem limites para definir quando o resultado da contagem é aceitável;

- *Trabalho* – Quando a carga de trabalho a ser cumprida é maior que a força de trabalho disponível, sendo impossível executar todo o trabalho, deve ser tratada como uma restrição desejável. Caso contrário, pode ser classificada como uma restrição obrigatória. A formulação desta restrição depende de como os requisitos de trabalho foram definidos;
- *Incompatibilidade* – É utilizada para impedir que dois itens incompatíveis sejam designados ao mesmo bloco de tempo. O conjunto de itens mutuamente incompatíveis é representado por I e \mathbf{I} e representa o conjunto de conjuntos incompatíveis I . Esta restrição pode ser formulada como:

$$\sum_{s \in I} x_{sb} \leq 1, \quad \forall I \in \mathbf{I}, \forall b, \quad (5.8)$$

A equação (5.8) garante que apenas um item s de um conjunto de itens mutuamente incompatíveis I pode ser designado a bloco de tempo b .

- *Locais* – São restrições que podem ser verificadas examinando uma pequena parte da escala de trabalho, por exemplo, as restrições de seqüência e incompatibilidade. Não requerem grande conhecimento da solução;
- *Globais* – Estas restrições, por sua vez, requerem conhecimento abrangente da solução, ou seja, uma grande parte da solução precisa ser avaliada, como por exemplo, a escala de trabalho de uma semana ou as escalas de um grupo de trabalhadores. As restrições de contagem são geralmente restrições globais;
- *Intrínsecas e extrínsecas* – As primeiras são restrições que fazem parte da natureza dos itens que serão escalonados, são usualmente obrigatórias, e as demais são impostas por fatores externos, como leis, normas e senso-comum, tendem a ser desejáveis. A limitação que um empregado não pode estar em dois lugares ao mesmo tempo é uma restrição intrínseca, enquanto as restrições de incompatibilidade são extrínsecas.

O principal objetivo de uma escala é usar os recursos disponíveis da forma mais eficiente. Isto significa ter todas, ou o máximo possível, de tarefas executadas, ao menor custo

possível. A função objetivo mede a qualidade da solução e conduz em direção às boas soluções. Como objetivo secundário podemos ter: minimizar a violação das restrições desejáveis ou maximizar a justa distribuição de turnos impopulares, como os plantões em domingos e feriados.

- *Custo* – O custo total C de uma solução é a soma dos custos de cada designação, formulado como:

$$C = \sum_{s,b} x_{sb} c_{sb}; \quad (5.9)$$

- *Justiça* – É importante distribuir os turnos impopulares igualmente entre os trabalhadores. Para isto é preciso ter uma medida de “impopularidade” de um turno. Chamaremos de u_b esta medida para um turno b , que será diretamente proporcional a impopularidade de b . A impopularidade da escala atribuída a um empregado s pode ser definida como:

$$U_s = \alpha_s \sum_b x_{sb} u_b; \quad (5.10)$$

onde α_s é um coeficiente que considera a carga de trabalho do item s . Quando um trabalhador cumpre meia carga-horária (50%) deve receber a metade do número de turnos impopulares que os trabalhadores de carga integral (100%) recebem. Então, quando a carga de trabalho é 50%, $\alpha_s = 2$. A solução será completamente justa quando todos U_s , para cada itens s , possuírem o mesmo valor, o que é praticamente impossível. Outra maneira de resolver esta questão é tentar minimizar a diferença entre a pior e a melhor escala, calculando:

$$C_{fair} = \max U_s - \min U_s, \quad (5.11)$$

ou, ainda, minimizando o desvio padrão de valores de U_s diferentes:

$$C_{fair} = \sigma(U_s). \quad (5.12)$$

Na prática, pode haver compensações de um período de escala para outro, ajustando a distribuição de turnos impopulares ao longo do tempo;

- *Violação de restrições desejáveis* – Satisfazer todas estas restrições é usualmente impossível. É preciso avaliar o quanto as restrições desejáveis estão sendo satisfeitas, para otimizar esta avaliação. Para tanto, define-se o custo C_{soft} de todas as violações como a soma da avaliação de todas restrições desejáveis.

$$C_{soft} = \sum_c f_c(X); \quad (5.13)$$

- *Função Objetivo* – Foram identificadas três quantidades a minimizar: o custo básico da alocação de pessoas aos blocos de trabalho, um custo de justiça geral e um custo geral das violações da restrições desejáveis. Multiplica-se o custo de justiça por uma constante γ_{fair} para convertê-lo à mesma escala de grandeza que o custo C . E o mesmo ocorre com o custo das violações das restrições desejáveis. Então, a função objetivo completa, pode ser escrita:

$$F(X) = C(X) + \gamma_{fair} C_{fair}(X) + \gamma_{soft} C_{soft}(X). \quad (5.14)$$

Juntando todas as definições de variáveis, restrições e objetivos apresentados acima, podemos descrever um problema de escalonamento de pessoal com a formulação representada abaixo:

$$\text{Minimize } F(X) = C(X) + \gamma_{fair} C_{fair}(X) + \gamma_{soft} C_{soft}(X), \quad (5.15)$$

Sujeito a

$$\sum_{b \in B^*} x_{sb} \leq 1, \quad \forall B^*, \forall S; \quad (5.16)$$

$$f_c(X) < m_c \quad \forall c; \quad (5.17)$$

$$\sum_{b' \in T_b} x_{sb'} \geq x_{sb}, \quad \forall b, s; \quad (5.18)$$

$$\sum_{s \in I} x_{sb} \leq 1, \quad \forall I \in \mathbf{I}, \forall b; \quad (5.19)$$

$$\sum_{s \in S_j, b \in B_j} x_{sb} \leq n_j^{\max}, \quad \forall j; \quad (5.20)$$

$$\sum_{s \in S_j, b \in B_j} x_{sb} \geq n_j^{\min}, \quad \forall j; \quad (5.21)$$

$$x_{sb} \in \{0,1\}. \quad (5.22)$$

Onde:

- X representa a solução como o conjunto de todas as variáveis de decisão x_{sb} .
- C é o custo da designação dos itens aos blocos de tempo.
- C_{soft} é a somas das penalidades de todas as violações de restrições desejáveis.
- γ_{soft} é o fator de conversão, ou peso, de C_{soft} .
- C_{fair} é a soma das medidas de injustiças de cada item.
- γ_{fair} é o fator de conversão, ou peso, de C_{fair} .
- b é um bloco de tempo.
- s representa um item.
- B^* é o conjunto de blocos de tempo que se sobrepõem ao longo do tempo.
- c é uma restrição desejável.
- m_c representa um limite máximo de tolerância da violação c .
- f_c é a função penalidade para cada restrição desejável c .
- T_b representa o conjunto de blocos de tempo que podem suceder b .
- I é o conjunto de itens incompatíveis.
- j é um trabalho, uma tarefa.
- S_j representa o conjunto de itens que podem executar a tarefa j .
- B_j é o conjunto de blocos de tempo nos quais a tarefa j pode ser executada.
- n_j^{\min} é o número mínimo de itens para executar a tarefa j .
- n_j^{\max} é o número máximo de itens para executar a tarefa j .

Para representar as restrições de trabalho (5.20) e (5.21), foi utilizada a formulação que se aplica a seguinte situação: uma tarefa que requer um número mínimo de pessoas para

executá-la, há também um número máximo de pessoas que podem ser alocadas. Esta tarefa precisa todos os blocos de tempo contidos em B para ser realizada.

Como dito anteriormente, as restrições de trabalho dependem dos requisitos de cada aplicação, podendo ser mais ou menos complexas ou até tratadas como restrições desejáveis. Segundo Burke (BURKE et al, 2004^a), as restrições desejáveis podem ser divididas em três categorias:

- Válidas para todo o hospital, como o intervalo mínimo entre duas designações, uso de uma categoria alternativa para substituições;
- Válidas para pessoas com mesmas regras contratuais, por exemplo:
 - Número máximo de horas trabalhadas no período;
 - Número mínimo e máximo de dias consecutivos de trabalho;
 - Número mínimo e máximo de dias consecutivos de folga;
 - Número máximo de plantões em finais de semana consecutivos;
 - Número máximo de plantões em feriados consecutivos.
- Válidas individualmente: dias de folga, turnos de folga, turnos requisitados, pessoas que não trabalham juntas (casais, desafetos) e pessoas que devem trabalhar juntas (estagiário-supervisor).

Apesar das diferentes propostas, os autores (MEISELS e SCHAERF, 2003), (BLÖCHLIGER, 2004), (BURKE et al, 2004^a) convergem sobre a classificação das restrições em obrigatórias e desejáveis.

As formulações apresentadas forneceram subsídios para a construção do modelo proposto neste trabalho, no capítulo 6. Foram extraídos não apenas os tipos de restrições a serem modeladas como também a forma de fazê-lo, como exemplo, o uso de funções e matrizes.

CAPÍTULO 6

MODELO PROPOSTO

Este capítulo apresenta o modelo objeto deste trabalho. A seção 6.1 descreve o ambiente em que o modelo se insere, na seção 6.2 estão as regras que definem o problema, conforme informações obtidas em dois hospitais de Porto Alegre. A formulação desenvolvida encontra-se na seção 6.3.

6.1 APRESENTAÇÃO DO AMBIENTE

Como colocado em (BURKE, 2001^a), os pequenos hospitais, normalmente, estão interessados na melhor solução, não importando se o tempo de processamento necessário para a obtenção da escala for maior. Nos grandes hospitais, com muitas enfermarias, e conseqüentemente maior número de funcionários e regras, o setor encarregado da elaboração das escalas não dispõe de muito tempo. Neste caso, uma ferramenta que apresente um resultado razoável em um curto espaço de tempo, já é considerada como uma boa ferramenta.

Para ilustrar, segue o depoimento de uma das pessoas entrevistadas no levantamento das regras. Foi solicitado sigilo quanto a identificação da pessoa e da entidade.

Na verdade o que melhoraria seria uma lógica automática de distribuição de folgas (de forma eletrônica), de acordo com a legislação, sem que o enfermeiro fosse deslocado da assistência para fazer isto. Teria um caráter mais profissional e menos pessoal, sem falar no ganho em qualidade com o enfermeiro com menos atividades administrativas e mais à beira do leito fazendo um maior acompanhamento e avaliação do paciente e melhor supervisão do grupo técnico.

O objetivo do projeto é encontrar uma solução, computacionalmente viável, para a geração de escalas de trabalho mensais para os técnicos de enfermagem, de acordo com as regras operacionais do hospital e as restrições da legislação trabalhista, aumentando a satisfação dos funcionários com a escala e provendo uma distribuição justa dos plantões de forma a atender as folgas nos dias solicitados.

Os hospitais são organizados em enfermarias com local, tarefas e regras específicas. Cada enfermaria possui uma equipe permanente de enfermeiros e técnicos. Na prática, eventualmente ocorre deslocamento temporário de um profissional para suprir carência de pessoal em outra enfermaria. Alguns hospitais se utilizam de enfermeiros “folguistas”, que

são contratados justamente para cobrir a demanda mínima nas ausências dos funcionários fixos da enfermaria.

Os profissionais são divididos por categorias baseadas no nível de qualificação, experiência e responsabilidades conforme apresentado na seção 2.1. Cada categoria tem legislação e regras contratuais específicas.

Não há preocupação das entidades entrevistadas com custos em salários na elaboração da escala. Os salários dos profissionais são fixos e homogêneos em uma mesma categoria. A variação dos ganhos ocorreria por realização de horas extras que muitas vezes são transformadas em folgas adicionais. Havendo uma distribuição equilibrada dos plantões, as vantagens advindas das horas adicionais também serão equilibradas entre os profissionais.

Desde que escalas cíclicas não são usuais em hospitais, é importante para os funcionários conhecerem com alguma antecedência a escala de trabalho para organizarem a sua vida pessoal. A elaboração de escalas para curtos períodos é um processo mais rápido e obtém melhores resultados, mas restringe a divisão justa de plantões e folgas em sábados, domingos e feriados entre o pessoal (BURKE, 2004^a). Por outro lado, escalas para um período mais longo permitem uma distribuição mais equilibrada, mas requerem que as datas preferidas para as folgas sejam previstas com antecedência. Os hospitais trabalham com escalas com um mês de período, do dia 16 ao dia 15 do mês subsequente.

Nos hospitais entrevistados, os profissionais da enfermagem trabalham em turno fixo. Os turnos são, usualmente, dos seguintes tipos: manhã, tarde, noite ou integral. O turno integral se aplica a enfermeiros que exercem funções de chefia e/ou administrativas, geralmente um profissional por enfermaria. Enfermeiros e técnicos que trabalham no turno da noite seguem um regime chamado 12 x 36, que indica 12 horas de trabalho e 36 horas de descanso. Além deste descanso intercalado, estes profissionais têm direito a uma folga mensal. Os hospitais trabalham com duas equipes para cobrir o horário noturno: enquanto uma equipe trabalha a outra equipe folga. As escalas para as equipes noturnas e profissionais de turno integral não apresentam dificuldades em serem definidas.

Os demais enfermeiros dos turnos da manhã ou tarde, trabalham regularmente de segunda a sexta e cumprem quantos plantões forem necessários, geralmente dois, para preencher a carga horária mensal. Estes plantões geralmente cobrem os dois turnos, eventualmente podem ser de apenas um turno.

Quanto aos técnicos, a lei prevê que a cada seis dias trabalhados deve haver um dia de folga. Os feriados civis e religiosos trabalhados também são convertidos em folgas. O número

de técnicos em cada enfermaria é usualmente superior ao número de enfermeiros, seguindo o Artigo 5º da Resolução COFEN 189/1996 encontrada no anexo A.

Existe uma grande diferença na maneira como são elaboradas as escalas de técnicos e de enfermeiros. Enquanto a maior dificuldade em elaborar as escalas de enfermeiros reside na distribuição de plantões, para as escalas de técnicos está na distribuição das folgas.

Considerando o volume de “itens” a serem tratados, folgas ou plantões, multiplicados respectivamente pelo número de técnicos ou enfermeiros, a distribuição das folgas dos técnicos de enfermagem é o problema mais complexo e que consome mais tempo das chefias. Por isso foi escolhido como o foco desta pesquisa.

6.2 DEFINIÇÃO DO MODELO

Trata-se de “*um problema de otimização, no sentido de que exige que encontremos a melhor (de acordo com uma função de custo) entre as muitas possíveis soluções*” (LEWIS e PAPADIMITRIOU, 2000).

O objetivo deste trabalho é testar um modelo que seja utilizado na prática pelos hospitais. As informações que basearam a construção do modelo foram obtidas em dois hospitais que são referência em Porto Alegre que indicaremos como Hospital 1 e Hospital 2. As Tabelas 4 e 5 apresentam as regras válidas para os técnicos de enfermagem da unidade de tratamento intensivo do Hospital 1 e da unidade de internação do outro hospital

TABELA 4: Regras para técnicos de enfermagem Hospital 1.

Turno	Horário	Cobertura ideal	Tamanho da equipe	Regras
Manhã	6:50-13:05	18	26	Segunda a segunda, uma folga a cada 7 dias; uma folga por feriado trabalhado.
Tarde	12:50–19:05	18	26	
Noite	18:50–7:05	20	22+22	Duas equipes que se alternam. Trabalha uma noite e folga a outra; uma folga por mês.

TABELA 5: Regras para técnicos de enfermagem Hospital 2

Turno	Horário	Cobertura ideal	Tamanho da equipe	Regras
Manhã	7:00-13:00	8	14	Segunda a segunda, uma folga a cada 7 dias; uma folga por feriado trabalhado.
Tarde	13:00–19:00	8	14	
Noite	19:00–7:00	7	13+13	Duas equipes que se alternam. Trabalha uma noite e folga a outra; uma folga por mês.

Apesar de haver um número ideal de pessoal em assistência, denominada de cobertura ideal, ambos hospitais objetivam trabalhar com o máximo possível de pessoal alocado. É aceitável uma diminuição deste número, mas há um número mínimo, cobertura mínima, de pessoal requerido.

Alguns requisitos que devem ser atendidos na elaboração de uma escala de trabalho de técnicos de enfermagem:

- As folgas devem ser planejadas de forma a garantir o número mínimo necessário de profissionais em assistência, de acordo com a demanda de cada turno/dia. A demanda de técnicos é menor nos finais de semana e feriados, quando não acontecem cirurgias. Deve-se evitar ter o número mínimo de pessoal alocado num determinado turno, pois sobrecarrega demais a equipe;
- Existem folgas obrigatórias por lei a cada período trabalhado. O número de folgas a que o técnico tem direito corresponde ao número de domingos mais o número de feriados que ocorrem no período da escala;
- Reuniões, treinamentos e mesmo a substituição de algum colega ausente geram horas a mais que são convertidas em folgas. Cada 6 horas equivale a uma folga. Chamaremos estas folgas de “folgas adquiridas”. Procura-se atender o máximo possível de folgas adquiridas em cada escala, o acúmulo de folgas em haver dificulta a elaboração da escala e há um prazo legal de seis meses para a concessão destas folgas;
- O intervalo entre folgas por lei é de 6 dias mas é tolerado intervalo de 7 dias. São aceitáveis algumas ocorrências de intervalos mais longos;

- O último dia de folga do mês anterior é considerado no cálculo da primeira folga do período em planejamento, para não ultrapassar o intervalo máximo entre descansos;
- Distribuição dos plantões em sábados, domingos e feriados de forma equitativa entre os funcionários;
- Cada técnico deve ter no mínimo uma folga em um sábado, mais uma folga em um domingo ou feriado, constituindo um fim-de-semana de folga, não necessariamente em dias consecutivos;
- Deve ser verificada a disponibilidade de uma pessoa em trabalhar determinado turno/dia. O profissional pode estar em licença, dispensa ou férias no período;
- Uma pessoa deve ser designada a no máximo um turno por dia;
- Para promover a satisfação dos funcionários, procurou-se conceder as folgas em datas solicitadas por estes, respeitando a prioridade vigente para o período da escala.

As primeiras pesquisas voltadas à elaboração de escalas de trabalho de enfermeiros consideravam todo o processo de construção: modelagem da demanda, designação dos trabalhadores às enfermarias e a construção da tabela de horários de curto-prazo. Os trabalhos mais recentes, que visam atender situações reais, com maior complexidade intrínseca, estão tratando partes do problema.

A abordagem usada, conforme as fases do processo de elaboração de escalas de trabalho, apresentadas na seção 3.1, foi a seguinte:

- a) *Modelagem da demanda* – A demanda é baseada em turnos. Um turno é a carga de trabalho diária de um trabalhador. Informações consideradas estratégicas como horários dos turnos e o número necessário de pessoas para atender a demanda, cobertura, são fornecidos pelas gerências das enfermarias;
- b) *Escalonamento dos dias de folga* – É realizado individualmente dadas as preferências de folgas de cada técnico, o número de folgas a que cada um tem direito, a data da última folga e o indicativo de prioridade daquele trabalhador nas folgas solicitadas;
- c) *Escalonamento de turnos* – Esta etapa é desnecessária nos casos de demanda baseada em turnos;

- d) *Construção de linhas de trabalho* – É reduzida a escalonamento dos dias de folga, pois, nos hospitais examinados, os profissionais da enfermagem trabalham em turno fixo;
- e) *Designação de tarefas* – A escala diária, que trata da distribuição das tarefas, é elaborada no início de cada turno em reunião com o grupo de profissionais que está iniciando o trabalho. Depende das necessidades de assistência dos pacientes que estão internados naquele dia;
- f) *Designação de pessoal* – Como as preferências e disponibilidade dos trabalhadores estão sendo tratadas, então a designação de pessoal é realizada junto com a criação das linhas de trabalho.

Para separar o problema em subproblemas, reduzindo o espaço de busca (BURKE et al, 2004^a) e obter ganhos computacionais e na qualidade da solução final, como sugerido por Blöchliger (2004), as escalas são elaboradas separadas por enfermaria e por turno, para a categoria de técnicos. Existe independência entre estes subproblemas visto que as equipes são específicas das enfermarias e dos turnos.

6.3 FORMULAÇÃO MATEMÁTICA

As restrições obrigatórias, que devem ser atendidas para que uma solução seja viável, neste modelo são:

- *Cobertura* – Cada turno/dia deve ter o pessoal designado de forma a garantir a demanda mínima;
- *Intrínseca* – Uma pessoa deve ser designada a no máximo um turno por dia;
- *Folgas* – Deve ser concedido no mínimo o número de folgas obrigatórias e o total de folgas concedidas não pode ultrapassar o número de folgas obrigatórias mais o número de folgas adquiridas a que o técnico tem direito;
- *Disponibilidade* – A pessoa deve ter disponibilidade para trabalhar naquele turno/dia.

Desde que as restrições obrigatórias devem ser atendidas a todo custo, apenas as violações das restrições desejáveis contribuem para a qualidade da solução. É praticamente impossível encontrar uma escala que atenda a todos os requisitos desejáveis (BURKE et al,

2004a) e que são freqüentemente conflitantes (GASCON et al, 2000). Neste modelo, as restrições desejáveis são:

- *Solicitações* – Para promover a satisfação dos funcionários, conceder as folgas em datas solicitadas por estes;
- *Distribuição dos plantões* – distribuir os plantões em sábados, domingos e feriados de forma equitativa entre os funcionários;
- *Fim-de-semana* – distribuir uma folga em um sábado mais uma folga em um domingo ou feriado para cada técnico;
- *Folgas adquiridas* – conceder o máximo possível de folgas sem ultrapassar o número de folgas obrigatórias mais o número de folgas adquiridas;
- *Intervalo* – deve ser respeitado ao máximo o intervalo, a lei especifica 6 dias, entre as folgas. Está entre os desejáveis visto que, na prática, há flexibilidade para este prazo, assim as relaxações são penalizadas. Há um prazo de relaxação de maior tolerância e menor tolerância para relaxações maiores que este prazo;
- *Cobertura* – Apesar da variação permitida ao número de técnicos alocados, deve-se evitar ter o número mínimo de técnicos em assistência.

A cada uma destas restrições pode ser atribuído um peso, que influenciará na importância desta variável no resultado da função objetivo.

Para entendimento da formulação matemática do modelo proposto, é necessário conhecer as seguintes definições:

X	Representa a solução como o conjunto de todas as variáveis de decisão x_{ijk} .
$F_s(X)$	Função Solicitações – calcula uma penalidade por folgas solicitadas, por técnico, e não atendidas.
$F_p(X)$	Função Distribuição dos plantões – avalia, em toda a escala, a justiça na distribuição dos plantões, aos sábados, domingos e feriados.
$F_f(X)$	Função Fim-de-semana – penaliza se o técnico não recebeu folga em final de semana/feriado.
$F_a(X)$	Função Folgas adquiridas – penalidade que contabiliza folgas adquiridas de cada técnico não concedidas na escala.

$F_i(X)$	Função Intervalo – penaliza os intervalos entre folgas que excederam o limite legal dentro da relaxação permitida.
$F_{i+}(X)$	Função Intervalo+ - penaliza os intervalos entre folgas que excederam o limite legal além da relaxação permitida.
$F_c(X)$	Função Cobertura – penalidade para as ocorrências de cobertura mínima.
$P_s(X)$	Peso da função Solicitações.
$P_p(X)$	Peso da função Distribuição dos plantões.
$P_f(X)$	Peso da função Fim-de-semana.
$P_a(X)$	Peso da função Folgas adquiridas.
$P_i(X)$	Peso da função Intervalo.
$P_{i+}(X)$	Peso da função Intervalo+.
$P_c(X)$	Peso da função Cobertura.
j	Indica um tipo de turno de trabalho.
i	Representa um técnico.
k	É um dia do período da escala.
x_{ijk}	É a variável binária cujo valor 1 indica se o técnico i está alocado ao turno j no dia k , 0 caso contrário.
t	Indica o número de tipos de turno.
n	Representa o número de técnicos.
p	É o número de dias do período da escala.
Rn_{jk}	É a matriz que contém a necessidade mínima de técnicos para o turno do tipo j no dia k .
D_{ijk}	É a matriz binária com a disponibilidade do técnico i no turno j no dia k . Vale 1 se há disponibilidade, 0 se não há.
O_i	Vetor que contém o número de folgas obrigatórias para o técnico i .
A_i	Vetor que contém o número de folgas adquiridas para o técnico i .

A formulação proposta é esta:

$$\begin{aligned} \text{Minimize } F(X) = & P_s \cdot f_s(X) + P_p \cdot f_p(X) + P_f \cdot f_f(X) + P_a \cdot f_a(X) + \\ & P_i \cdot f_i(X) + P_{i+} \cdot f_{i+}(X) + P_c \cdot f_c(X) \end{aligned} \quad (6.1)$$

sujeito a

$$Rn_{jk} \leq \sum_{i=1}^n x_{ijk}, \quad (j=1, \dots, t; k=1, \dots, p); \quad (6.2)$$

$$x_{ijk} \leq D_{ijk}, \quad (i=1, \dots, n; j=1, \dots, t; k=1, \dots, p); \quad (6.3)$$

$$\sum_{j=1}^t x_{ijk} \leq 1, \quad (i=1, \dots, n; k=1, \dots, p); \quad (6.4)$$

$$\sum_{j=1}^t \sum_{k=1}^p (1 - x_{ijk}) \geq O_i, \quad (i=1, \dots, n); \quad (6.5)$$

$$\left(\sum_{j=1}^t \sum_{k=1}^p (1 - x_{ijk}) \right) - O_i \leq A_i, \quad (i=1, \dots, n); \quad (6.6)$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\}, \quad (i=1, \dots, n; j=1, \dots, t; k=1, \dots, p). \quad (6.7)$$

As restrições obrigatórias são garantidas pelas formulações de (6.2) a (6.7). A restrição (6.2) garante os requisitos de cobertura mínima. A disponibilidade é determinada pela restrição (6.3). Possibilitar que uma pessoa seja alocada a no máximo um turno por dia é a função da restrição colocada em (6.4). O atendimento ao número de folgas obrigatórias está sendo verificado por (6.5) e a equação (6.6) controla que a concessão das folgas não ultrapasse o número de folgas obrigatórias mais o número de folgas adquiridas. Por último, (6.7) define a variável binária x_{ijk} cujo valor 1 indica se o enfermeiro i está alocado ao turno j no dia k , 0 em caso de folga.

A função objetivo (6.1) é composta por sete variáveis, cada uma é uma função multiplicada pelo respectivo peso. As funções Solicitações, Fim-de-semana, Folgas adquiridas, Intervalo e Intervalo+ são calculadas para cada técnico, representados nas linhas da escala, e somadas para integrarem a função objetivo. A função Cobertura examina os dias

do período da escala, que estão dispostos nas colunas da escala, e a função Distribuição dos plantões considera os técnicos e os dias tendo uma visão completa da escala. A estrutura da escala e a incidência de cada parcela da função objetivo estão representados na Figura 8.

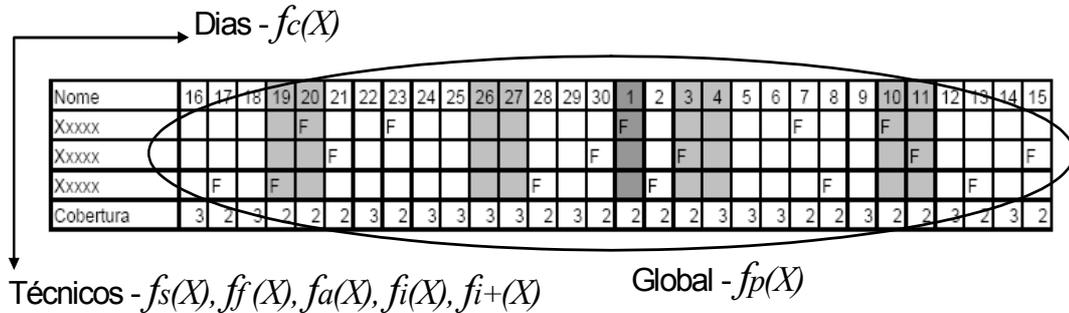


FIGURA 8: Incidência das parcelas da FO na escala.

A função $f_s(X)$ representa a função Solicitação, que soma as penalidades por folgas solicitadas por técnico e não atendidas, cujo cálculo é o seguinte:

- O técnico informa de 0 até 4 dias do período desejado como folga. Pode repetir a solicitação de um determinado dia, aumentando o peso deste dia no cálculo da penalidade;
- A penalidade individual é calculada pela subtração do número de folgas concedidas em data solicitada do número de datas solicitadas (solicitadas menos concedidas);
- A pena total é a soma das penas individuais multiplicadas pela prioridade do técnico (ver apêndice A – ROC – Ordem de Classificação de Centróides).

O número de plantões em sábados, domingos e feriados de todos técnicos é examinado pela função $f_p(X)$, Distribuição dos plantões, que calcula o desvio padrão da distribuição destes plantões entre os técnicos. Uma distribuição equilibrada dos plantões nestes dias reduz o desvio padrão e conseqüentemente a função objetivo.

A função Fim-de-semana, $f_f(X)$, verifica que cada técnico tenha uma folga em sábado e outra em domingos ou em feriado. Não havendo esta distribuição de folgas, o técnico ganha uma penalidade de valor 1.

Por sua vez, a função $f_a(X)$ avalia a concessão de folgas adquiridas. A pena é incrementada em 1 a cada folga adquirida não concedida, por técnico.

A função Intervalo, representada por $f_i(X)$, conta o número de vezes em que o limite legal dos intervalos entre folgas é excedido dentro do limite de relaxação informado.

A função Intervalo+, representada por $f_{i+}(X)$, acumula o número de dias excedentes ao limite legal dos intervalos entre folgas quando o excesso é maior que a relaxação permitida. Seja um limite de 6 dias, na ocorrência de um intervalo de 8 dias, a pena recebe o valor 2, mesmo que o relaxamento de um dia seja tolerado.

E por último, a função $f_c(X)$, Cobertura, acumula a diferença entre o número de técnicos alocados e o número de técnicos da cobertura ideal, para os dias em que houve relaxamento da cobertura, ou seja, o número de técnicos alocados é menor que o número de técnicos da cobertura ideal, mas sempre acima da cobertura mínima conforme garantido pela restrição (6.2).

CAPÍTULO 7

APLICAÇÃO

7.1 ARQUITETURA DO MODELO

“Mixing and hybridizing is often better than purity... not just in the world of algorithms”. (Blum e Roli, 2003)

A aplicação está concentrada na obtenção de escalas de trabalho não apenas viáveis, mas de melhor qualidade considerando os critérios desejados apresentados na seção 6.2. Para uso prático dever ser desenvolvida uma interface para manutenção de dados dos técnicos e das escalas geradas em uma base de dados. O esquema geral de funcionamento está ilustrado na Figura 9. A aplicação desenvolvida corresponde a parte acima da linha tracejada.

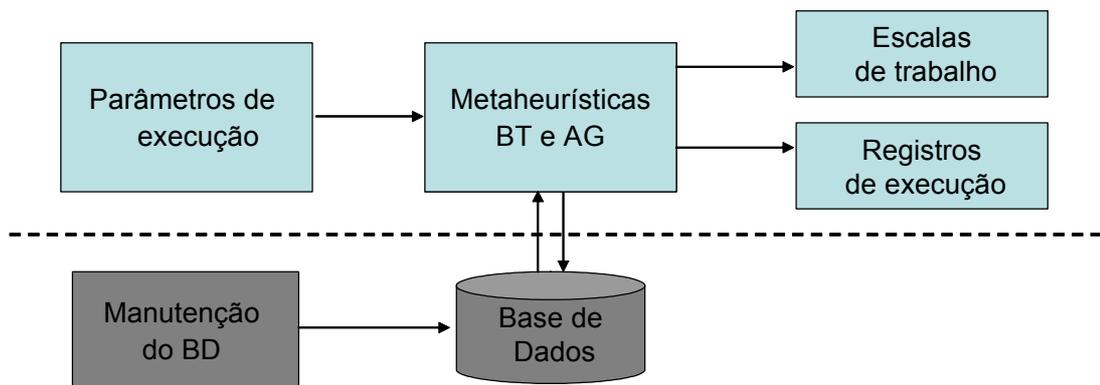


FIGURA 9: Arquitetura do modelo.

Uma vez fornecidos os parâmetros para a execução, o processo principal é iniciado pela Busca Tabu, sendo opcional a execução do Algoritmo Genético. Informações decorrentes do processo de elaboração da escala, registros de execução (*log*), são gravados em arquivos tipo texto para posterior análise do funcionamento do modelo. A escala gerada é apresentada em tela.

7.2 ENTRADA DE DADOS

Devem ser fornecidos parâmetros para a elaboração de uma escala específica. Os parâmetros podem ser agrupados em:

- *Parâmetros da Escala* – período (mês/ano) para o qual elaborar a escala, número de técnicos, cobertura ideal requerida, relaxação permitida na cobertura, intervalos máximo e mínimo desejado entre as folgas, a relaxação permitida no intervalo máximo, pesos das parcelas da FO e origem do caso de teste;
- *Parâmetros Gerais* – Definição do número de vezes que o Algoritmo Genético deve ser executado, que chamamos de número de diversificações;
- *Parâmetros da Busca Tabu* – Calibragem do processo de busca: número máximo de iterações sem melhora no resultado e tamanho da Lista Tabu;
- *Parâmetros do Algoritmo Genético* – Tamanho da população inicial e número de gerações.

Informações específicas de cada técnico, como dias de preferência de folgas, última folga do período anterior, número de folgas adquiridas e indisponibilidade, serão fornecidas pelos casos de teste conforme detalhado na seção 8.2 Casos de Teste.

Nesta implementação, o aplicativo trata meses inteiros como período de planejamento e não do dia 16 de um mês ao dia 15 do mês seguinte como ocorre na prática. O aplicativo mantém internamente uma tabela com as ocorrências de feriados.

7.3 PROCESSO

Expandindo a caixa “Metaheurísticas BT e AG” da Figura 9, obtemos o esquema detalhado do processo, representado na Figura 10.

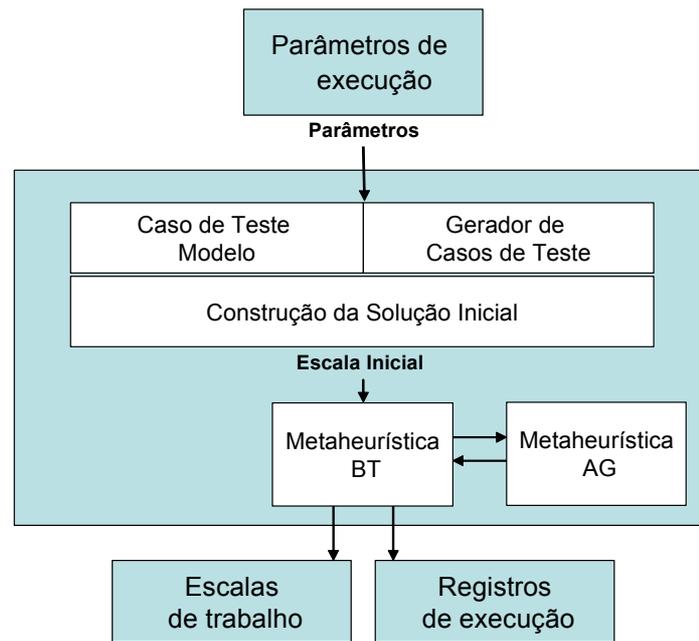


FIGURA 10: Metaheurísticas BT e AG no modelo proposto.

O processo começa com a construção de uma escala inicial a partir dos parâmetros informados. A Busca Tabu requer uma solução inicial que seja viável, não importando a qualidade. As informações necessárias para a construção desta escala, como número de folgas adquiridas, data da última folga, datas de preferência para folga, indisponibilidades, são fornecidas pelo caso de teste modelo ou pelo gerador de casos de teste.

A escala gerada será a entrada para o processo principal que é conduzido pela Busca Tabu. Se foi optado somente pela execução da BT, ou seja, o parâmetro número de diversificações é 0 (zero), o processo encerra neste ponto. Caso contrário, a escala obtida no final da BT será submetida a um Algoritmo Genético, como forma de diversificação, e a escala diversificada realimentará uma nova Busca Tabu para refinamento da solução. Este ciclo termina quando o número de diversificações informado for atingido ou quando o AG não conseguir alterar a escala. A Figura 11 ilustra esta dinâmica.

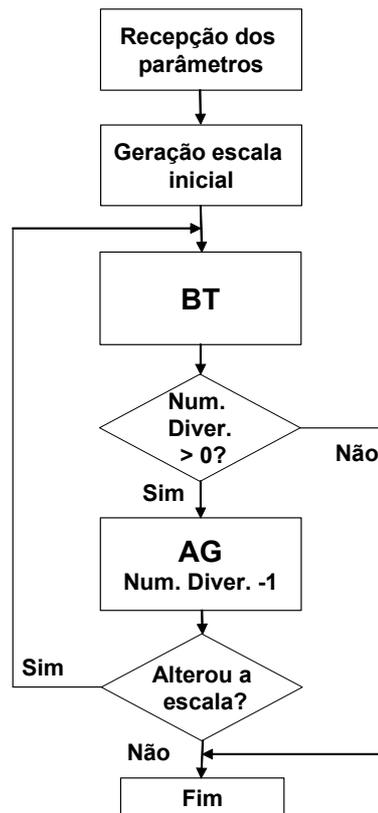


FIGURA 11: Dinâmica BT e AG.

Esta arquitetura foi baseada em (BURKE et al, 1998) onde logo após a Busca Tabu uma heurística de diversificação, de duas possíveis, é executada. Como no modelo proposto, a BT é executada novamente após a diversificação. Em (BURKE et al, 2001a) é sugerida a aplicação da BT com heurísticas de diversificação e após mais uma etapa de diversificação com AG.

7.3.1 Construção da solução inicial

O objetivo é obter uma solução viável, onde apenas os requisitos obrigatórios são atendidos, sem preocupação com a qualidade da escala construída. A cobertura diária poderá ser atendida com ou sem relaxamento e apenas as folgas obrigatórias serão concedidas.

Para a construção da solução inicial são utilizadas informações do caso de teste e dos parâmetros conforme especificado abaixo:

- Caso de teste: dias indisponíveis para o trabalho e dia da última folga no período anterior de cada técnico;
- Parâmetros: número de técnicos, período (para obter número de dias do período atual e anterior), cobertura ideal, relaxamento de cobertura admitido, número de dias do intervalo máximo entre folgas.

A escala inicial contempla apenas a distribuição das folgas obrigatórias. O número de folgas obrigatórias corresponde ao número de domingos mais o número de feriados que ocorrem no período em que o técnico está disponível para o trabalho. Caso um feriado seja também um domingo, é contado como apenas uma folga. As folgas adquiridas, que fazem parte das restrições desejáveis, não são tratadas nesta etapa para evitar dificuldade em atender a restrição de cobertura, outro requisito de viabilidade da escala.

Os técnicos são tratados em ordem crescente do número de dias disponíveis para o trabalho, como sugerido em (LITCHFIELD et al, 2003 e BURKE et al, 2001^a). A cada iteração, são distribuídas todas folgas obrigatórias de um técnico, conforme os passos abaixo:

a) Cálculo do dia da primeira folga (equação (7.1)) – O dia da primeira folga p dá continuidade à escala do período anterior, respeitando a restrição de intervalo entre folgas. É determinado pelo intervalo entre folgas parametrizado v subtraído da diferença do número de dias do período anterior t , do dia da última folga no período anterior e do valor um. Se p resultar negativo ou zero, a primeira folga será no dia primeiro ($p=1$).

$$P = v - (t - u - 1) \quad (7.1)$$

b) Cálculo do intervalo para distribuição das demais folgas do técnico (equação (7.2)) – O intervalo i para distribuição das folgas do técnico é o resultado inteiro da divisão do número de dias disponíveis para trabalho d menos o dia da primeira folga p pelo número de folgas obrigatórias o do técnico:

$$i = \frac{d - p}{o} \quad (7.2)$$

c) Distribuição das folgas – Designa as folgas obrigatórias para o técnico a partir do dia p a cada i dias. Na data calculada deve haver disponibilidade do técnico e o número suficiente de

técnicos trabalhando garantindo a cobertura ideal. Caso contrário, é procurado o dia mais próximo possível, tanto anterior como posterior, que satisfaça estas condições. Se ainda assim não for encontrado um dia, repete-se a busca considerando o relaxamento da cobertura. Não sendo encontrado um dia para a folga, mesmo considerando relaxamento da cobertura, considera-se inviável montar uma escala com as condições dadas e o programa é interrompido.

7.3.2 Busca Tabu

Esta etapa do processo trata da busca no espaço de soluções através da metaheurística BT. A cada iteração da BT serão revisadas duas vizinhanças.

A primeira vizinhança atua como uma pequena diversificação da escala uma vez que seus movimentos alternam as escalas de um dia, de um técnico, entre folga e trabalho. Este movimento é realizado somente para os técnicos com direito a folgas adquiridas.

Nome	16	17	18	19	20	21	22	23
Téc 1					F			F
Téc 2						F		
Téc 3		F		F				
Nro.Func.	3	2	3	2	2	2	3	2

(a) Antes do movimento

Nome	16	17	18	19	20	21	22	23
Téc 1	F				F			F
Téc 2						F		
Téc 3		F		F				
Nro.Func.	2	2	3	2	2	2	3	2

(b) Depois do movimento

FIGURA 12: Movimento de diversificação.

A Figura 12 exemplifica o movimento de diversificação. Pressupondo que a cobertura do dia permite e que o técnico tem direito a mais um dia de folga, a escala do primeiro técnico, no primeiro dia, é alterada de trabalho para folga.

O algoritmo para a exploração da vizinhança de diversificação é apresentado no esquema abaixo, Figura 13.

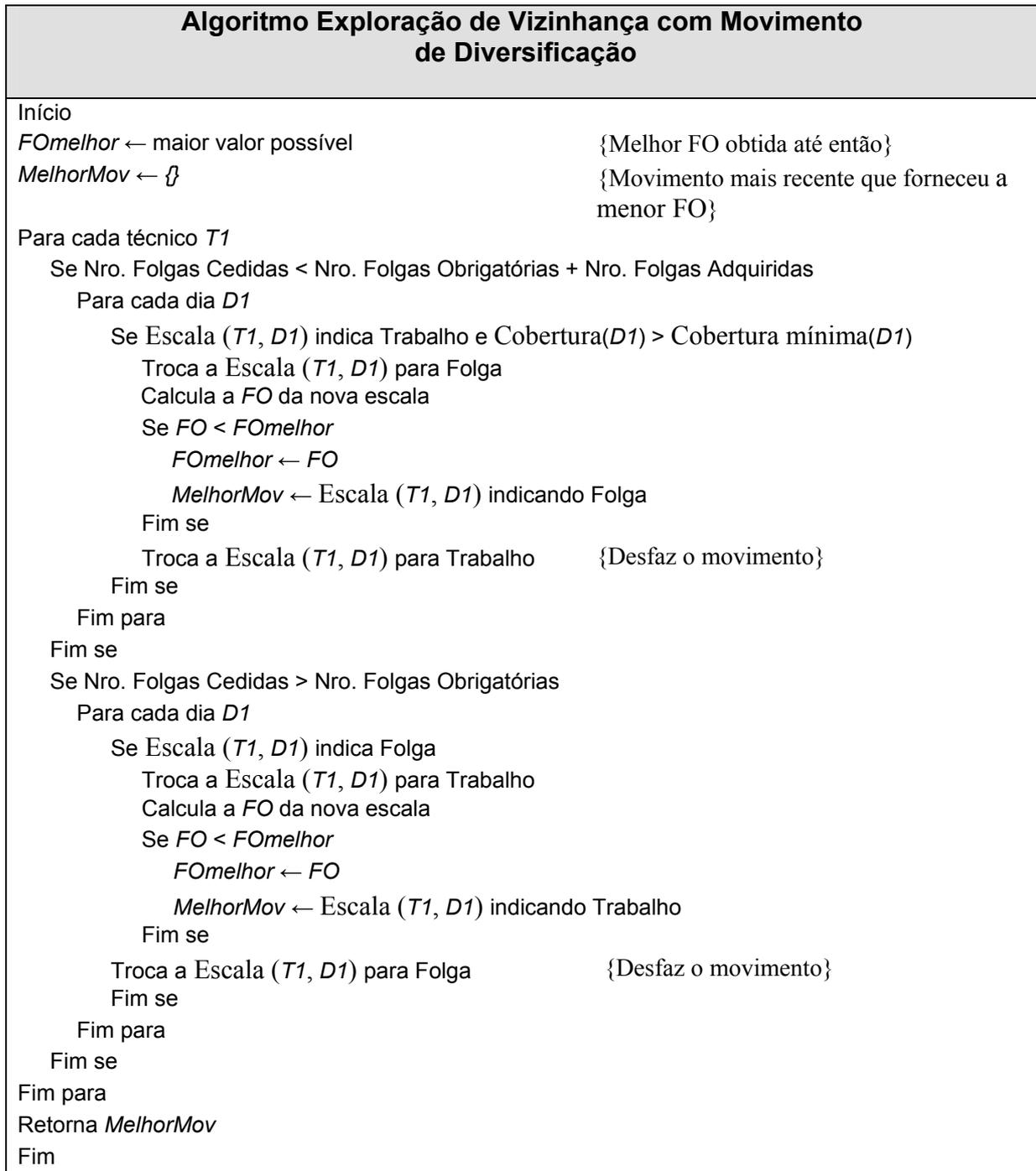


FIGURA 13: Algoritmo Exploração de Vizinhança com Movimento de Diversificação.

A cada iteração da BT são avaliados todos os técnicos. Se o número de folgas concedidas para o técnico é menor que o número de folgas obrigatórias mais o número de folgas adquiridas, ou seja, o técnico tem direito a receber mais folgas, é verificado para qual dia a concessão de uma folga resulta em uma menor FO. Depois é verificado se o número de folgas concedidas para este técnico, é maior que o número de folgas obrigatórias. Caso positivo, avalia-se o impacto na FO causado pela substituição de cada folga por trabalho.

Entre estas duas possibilidades, conceder folga ou retirar folga, o movimento que resultar na menor FO é realizado na escala. Mas sempre, os requisitos de viabilidade devem ser atendidos: mínimo de folgas obrigatórias, cobertura mínima, número de folgas concedidas não pode ultrapassar a soma de folgas obrigatórias e folgas adquiridas para o técnico.

Na construção da solução inicial são atendidas apenas as folgas obrigatórias do período, que é uma das condições para a solução ser viável. Visto que, inicialmente, todos técnicos estão com apenas as folgas obrigatórias atendidas, o movimento de troca realizado pela segunda vizinhança não conseguiria retirar uma folga de um técnico e passá-la para a escala de outro técnico, pois este movimento tornaria a escala do técnico de origem inviável. As movimentações possíveis seriam limitadas a trocar dias de folga e de trabalho de um mesmo técnico.

A segunda vizinhança é gerada por movimentos de troca (*swap*), conforme apresentado em 4.3.5. São avaliadas todas as trocas entre as escalas diferentes (folga ou trabalho), de cada técnico/dia diferentes, de acordo com a disponibilidade dos técnicos e que resultem em escalas viáveis, ou seja, atendam os requisitos de cobertura e o número de folgas concedidas a cada técnico não é menor que o número de folgas obrigatórias nem maior que o número de folgas obrigatórias mais as folgas adquiridas. A cada iteração, é realizado na escala o movimento que resultar na menor FO.

	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Nome																														
Xxxxx					F			F							F															
Xxxxx																Fe														
Xxxxx				F													F													
Cobertura	3	2	3	2	2	2	3	2	3	3	3	3	3	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2

FIGURA 14: Movimento de troca.

A Figura 14 ilustra alguns movimentos de troca possíveis e não possíveis. As trocas de escalas 1 por 2, 1 por 3 e 1 por 4 são viáveis. Por sua vez, as escalas 1 e 5 são iguais, portanto realizar a troca não altera o resultado. A troca de 1 por 6 não é possível pois os períodos de indisponibilidades de cada técnico, férias no exemplo, são intransferíveis.

A Figura 15 apresenta a lógica implementada para a exploração da vizinhança gerada pelos movimentos de troca.

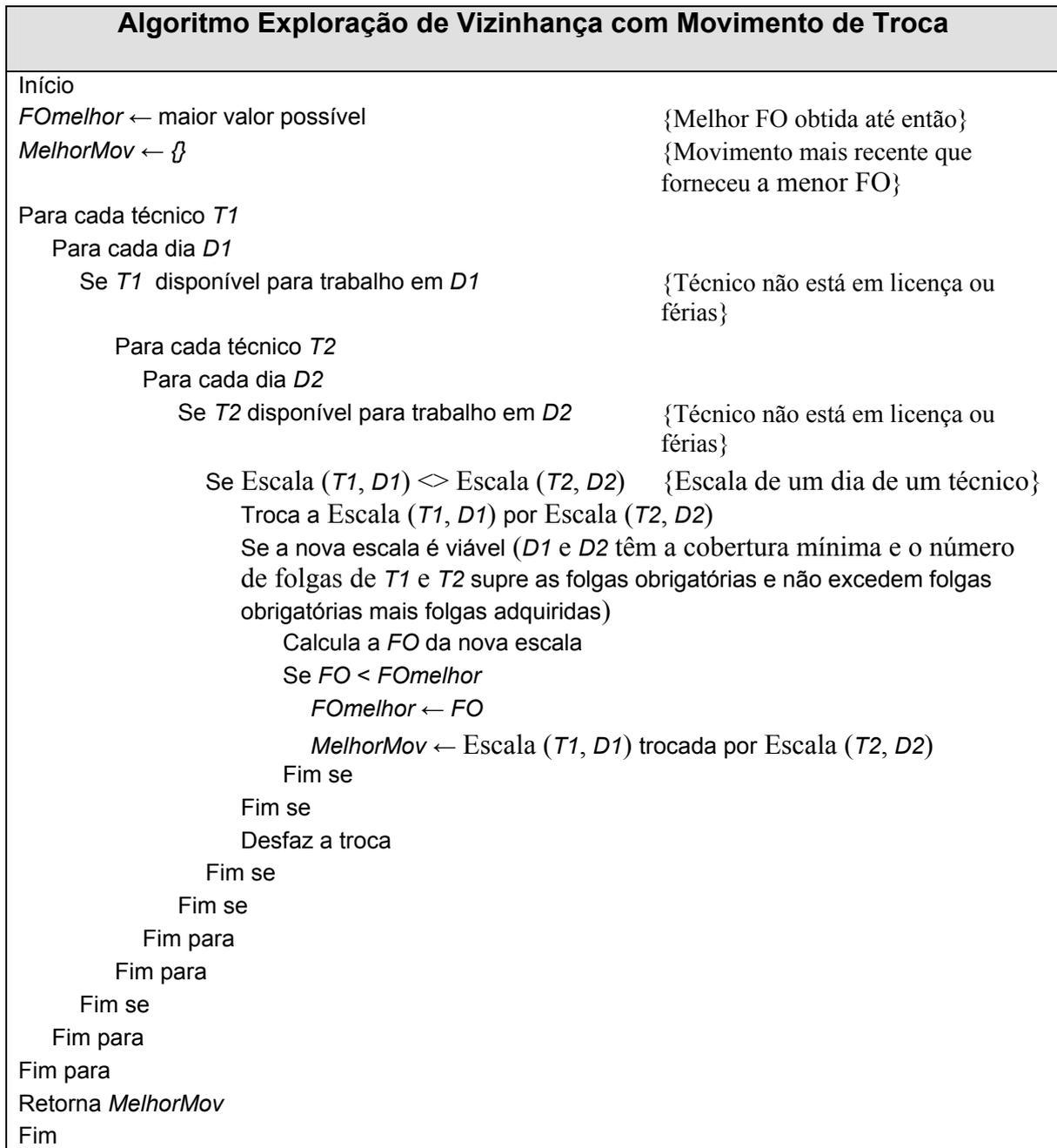


FIGURA 15: Algoritmo Exploração de Vizinhança com Movimento de Troca.

A Figura 16 apresenta o algoritmo de Busca Tabu implementado, observa-se que as duas vizinhanças são exploradas por completo a cada iteração.

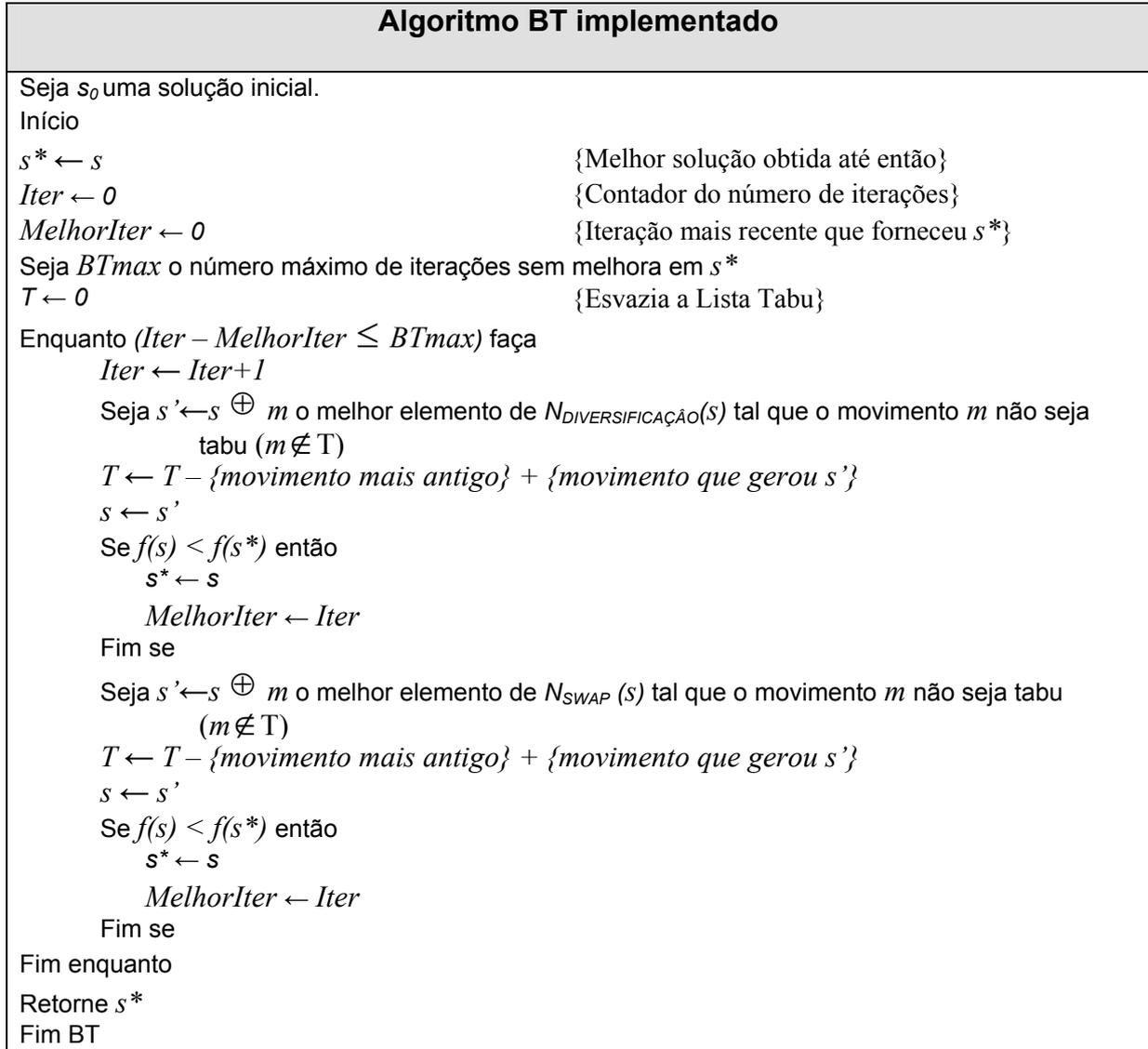


FIGURA 16: Algoritmo de Busca Tabu implementado.

A Lista Tabu, que mantém os movimentos considerados proibidos para evitar que a busca retorne a uma solução já avaliada, manterá os dois tipos de movimentos. O primeiro tipo mantém o técnico, o dia e a escala deste técnico/dia antes da alteração de folga, ou trabalho, para trabalho, ou folga, respectivamente. E o segundo movimento guarda o reverso do movimento de troca: o técnico, o dia e a escala técnico/dia de origem e o técnico, o dia e a escala técnico/dia de destino.

Inicialmente foi implementado um critério de aspiração permitindo que um movimento na Lista Tabu seja realizado se a FO resultante deste movimento for igual ao melhor resultado alcançado até então. Desativando este critério de aspiração a Busca Tabu foi

incentivada a diversificar, alcançando outras regiões do espaço de soluções atingindo resultados finais melhores.

7.3.3 Algoritmo Genético

Neste modelo o AG é aplicado como uma forma de diversificação mais agressiva que o movimento de diversificação realizado na BT. Enquanto os movimentos implementados para a BT alteram a escala de um técnico/dia, o AG troca várias escalas técnico/dia buscando atingir regiões do espaço de soluções que os movimentos da Busca Tabu não alcançaram. “*A eficiência da Busca Tabu pode ser aumentada aplicando diversificação*” (BURKE, 2004a).

Da escala resultante da BT é selecionada a população inicial, sendo a escala de cada técnico um candidato a indivíduo desta população. Cada escala individual é um cromossomo e cada dia é um gene. Para não aumentar em demasia o tempo de processamento, a atuação do AG está restrita a buscar melhorias nas escalas individuais que não estão atendendo satisfatoriamente restrições consideradas mais importantes, uma pelo objetivo geral da escala e outra pelo aspecto legal. Serão selecionadas as escalas individuais com a função Solicitações maior que um (mais de uma data de folga solicitada não atendida) e/ou com a pena Fim-de-semana igual a um (técnico não tem folgas em um sábado e em um feriado ou domingo). O parâmetro Tamanho da População limita o número máximo de indivíduos que serão selecionados. O AG prossegue se no mínimo dois indivíduos forem selecionados.

A cada iteração, são selecionados dois pais da população inicial, que ainda não cruzaram entre si. Chamaremos os pais selecionados de pai 1 e pai 2. É mantida uma matriz de incidência para gerenciar os cruzamentos já realizados. Não é aplicada função de adaptabilidade específica para selecionar os pais, mas todos os indivíduos da população inicial foram selecionados previamente de acordo com as regras expostas acima.

O cruzamento trata da combinação dos genes dos pais para gerar os filhos. A probabilidade de cruzamento é de 100% e a de mutação é de 0%. É gerado aleatoriamente um ponto de separação e os pais são combinados para gerar dois filhos: A primeira parte do cromossomo de um filho é criado pela primeira parte do cromossomo do pai 1 e a segunda parte do cromossomo é do pai 2. O cromossomo do segundo filho é invertido, a primeira parte do cromossomo do pai 2 e a segunda parte do cromossomo é do pai 1.

Quando ao menos um dos pais selecionados tem férias, nos primeiros ou últimos 15 dias do período, o ponto de separação fica limitado a quinzena oposta, para que não haja

quebra do período de férias. Neste caso, um dos filhos gerados manterá os dias de férias integralmente e outro filho não.

Se ambos pais selecionados têm férias em quinzenas diversas, é feita nova seleção. Como apresentado na Tabela 6, havendo férias nas duas quinzenas, nos meses com menos de 31 dias não restará genes (dias) para serem cruzados e nos meses com 31 dias resta apenas um gene, não sendo proveitoso cruzar dois pais com férias em quinzenas diferentes.

TABELA 6: Ponto de separação na ocorrência de férias.

Nº. de dias do mês	Primeira Quinzena	Segunda Quinzena	Dias para separação
31 dias	De 1 a 15	De 17 a 31	1 (dia 16)
30 dias	De 1 a 15	De 16 a 30	0
29 dias	De 1 a 15	De 15 a 29	-1
28 dias	De 1 a 15	De 14 a 28	-2

Foi incluído um mecanismo para garantir que um ponto de separação não seja o mesmo por duas vezes seguidas, pois desta forma os filhos retornariam aos cromossomos dos pais dos pais (avós).

A cada geração dois filhos são criados a partir dos filhos da geração anterior. Maior número de gerações promove uma maior fragmentação e mistura dos genes dos pais originais. Os novos filhos vão se agregando à população formada pelos pais 1 e 2 e descendentes gerados até então. Quanto maior o número de gerações, maior será a população final.

Da população resultante após as gerações, é verificado qual filho substitui o pai 1 com maior diminuição na FO. Se existe tal filho, é realizada a substituição e o pai 1 é eliminado da população inicial, caso contrário o pai permanece para futuros cruzamentos. O mesmo processo de substituição é repetido para o pai 2. A população gerada pelos pais 1 e 2 e seus descendentes é descartada e o algoritmo retorna a selecionar dois pais da população inicial, gerar uma nova população e verificar se é possível realizar substituição dos novos pais 1 e 2 com vantagem.



FIGURA 17: Mais gerações, maior mistura dos genes.

A Figura 17 exemplifica o efeito de três gerações de cruzamentos em um fragmento de escala individual. Todos os seis filhos gerados serão avaliados como substitutos do Técnico 1 e do Técnico 2. Se em alguma substituição houver melhora da FO, a troca de escala individual será efetivada.

O processo de cruzamento termina quando não há mais um mínimo de dois indivíduos na população inicial que ainda não cruzaram entre si.

A escala alterada pelo AG retorna a mais um processo de refinamento pela BT. Este ciclo se repetirá até atingir o número de diversificações informado nos parâmetros gerais ou o AG não obter filhos melhores para alterar a escala.

7.4 SAÍDAS

No final do processo, o sistema apresenta a melhor escala gerada, onde está indicado, a cada dia, se os técnicos estarão em assistência (trabalho) ou em folga. Também são expostos resultados sobre o processo de busca, como o número de vezes que a BT foi executada, movimentos viáveis executados por vizinhança, percentual de melhora obtida na função objetivo em relação à escala inicial, maior valor de função objetivo encontrado, o valor de cada parcela que compõem a função objetivo, número de iterações realizadas, melhor iteração da última execução da BT e o número de cruzamentos realizados no AG.

Durante o processo de busca são gravados dois arquivos em formato texto que auxiliam no acompanhamento e entendimento do processo. O primeiro registra, passo a passo, as etapas executadas, iniciando com os parâmetros informados e os valores das parcelas da função objetivo. A cada iteração registra o valor da função objetivo no início da iteração, o melhor movimento de cada vizinhança, inserções e remoções da lista tabu, cruzamentos realizados, avaliação dos filhos, substituições realizadas na escala durante o AG. O segundo arquivo mantém o valor da função objetivo e suas parcelas resultantes a cada iteração da BT, possibilitando a utilização destes dados para, por exemplo, gerar uma visualização gráfica.

Quando implementada a interface com a base de dados, poderão ser armazenadas além da própria escala, informações como a data da última folga do período, folgas adquiridas concedidas no período e saldo de folgas adquiridas para os próximos meses.

7.5 TECNOLOGIA

Para o desenvolvimento deste modelo foi utilizado o Microsoft Visual Basic 2005 do ambiente Microsoft Visual Studio 2005 v.8 com Microsoft .Net Framework v.2.0, em ambiente Windows XP.

CAPÍTULO 8

EXPERIMENTOS E VALIDAÇÃO

A falta de casos de teste padronizados, devido às variações nos modelos propostos, e de resultados reconhecidos dificulta a comparação dos resultados desta pesquisa com outras. Para os experimentos foram utilizados um caso de teste modelo e outro caso criado pelo gerador de casos de teste, ambos baseados em dados reais.

Neste capítulo é descrito o processo de geração de casos de testes, e analisados experimentos com variáveis não-tendenciosas, variáveis privilegiadas e diferentes parâmetros da Busca Tabu e Algoritmos Genéticos.

8.1 AMBIENTE DE TESTE

Os experimentos foram realizados em um computador com processador Intel 1.66 GHz Duo Core e 1 Gb de RAM, com o sistema operacional Windows XP Professional Versão 2000 *Service Pack 2* em velocidade de processamento Normal. A aplicação foi desenvolvida em uma *thread*, apesar do *hardware* ter dois processadores apenas um é utilizado pela aplicação.

8.2 CASOS DE TESTE

As informações fornecidas pelos parâmetros não são suficientes para a construção da escala inicial viável requerida pela Busca Tabu. Informações específicas de cada técnico, como dias de preferência de folgas, dia da última folga do período anterior, número de folgas adquiridas e dias indisponíveis para o trabalho, também são necessárias. Estas informações são fornecidas pelos casos de teste.

Casos de teste têm utilizado geradores de casos de teste aleatórios (ÖZCAN, 2005), casos artificiais baseados em dados reais (DOWSLAND, 1998) ou dados de casos reais (BURKE et al, 1998; BURKE et al, 2001; BURKE et al, 2003b; BURKE et al, 2004a; ÖZCAN, 2005).

Neste trabalho foram utilizadas duas fontes de dados de teste: um caso de teste artificial e um gerador de casos de teste aleatórios, ambos baseados em dados reais. Os dados

fornecidos por estes casos de teste, junto com os parâmetros informados, serão utilizados para a construção da escala inicial conforme descrito na seção 7.3.1.

Para validação do modelo foram utilizadas escalas fornecidas pelo Hospital 2. O Hospital 1 não forneceu dados para a validação.

8.2.1 Casos de teste modelo

Este caso de teste simula as condições de uma enfermaria com até 20 profissionais, sendo um técnico indisponível por todo o período devido a licença e três profissionais ausentes por quinze dias, em férias.

Este caso-modelo apresenta várias distribuições nas solicitações de folga:

- Concentradas em um dia, enfatizando o desejo de folga naquela data específica;
- Concentradas em dois dias diferentes;
- Três dias diferentes, sendo um deles repetido;
- Quatro dias seguidos, situação que na prática é bastante difícil de atender;
- Quatro dias distribuídos no período;
- Muitos profissionais solicitando folga no mesmo dia, forçando relaxamento na cobertura.

A vantagem de usar este conjunto de dados de teste é que apresenta certas dificuldades (primeiro, segundo, quarto e sexto itens acima) que nos casos de testes gerados aleatoriamente poderão não ocorrer. Os dados deste modelo são fixos, podendo ser aplicados a qualquer período do ano.

As variações nas escalas iniciais formadas nos diferentes períodos se devem ao número de feriados e domingos de cada período, que são os determinantes do número de folgas obrigatórias a serem distribuídas. O número de dias do período para o qual a escala está sendo planejada e do período anterior também afetam a distribuição das folgas, conforme detalhado na seção 7.3.1. Questões sobre o efeito das variações dos meses na escala são discutidas na seção 8.3.2.

8.2.2 Gerador de casos de teste

O gerador de casos de testes cria todas as informações, que complementadas com os parâmetros, definem as condições para as quais deve ser elaborada uma escala, e possibilitam a simulação de enfermarias com um número variável de profissionais. Os dados são gerados aleatoriamente, mas dentro de parâmetros para que o caso gerado seja condizente com a realidade. Estes parâmetros são o resultado da análise de 12 escalas reais da enfermaria de internação do Hospital 2. O gerador de casos de teste utiliza os parâmetros abaixo:

- Número de enfermeiros;
- Período: para obter número de dias do período corrente e do anterior e o número de domingos;
- Número de feriados no período.

Os procedimentos executados pelo gerador de casos de teste são os seguintes:

a) Definição das indisponibilidades de profissionais no período. Primeiro são identificados os técnicos que estarão em licença durante todo o período e posteriormente os técnicos que simularão períodos de férias quinzenais:

- Licença – São gerados períodos completos como licença, apesar de que na prática podem corresponder a apenas uma parte do período. Primeiro são gerados aleatoriamente o número de técnicos em estado de licença conforme as proporções de ocorrência de licenças que constam na Tabela 7 abaixo. Após são sorteados os técnicos que simularão a licença;

TABELA 7: Proporção na ocorrência de licenças.

Número de técnicos em licença/período	Proporção
0	16,66%
1	33,33%
2	33,33%
3	8,33%
4	8,33%

- Férias - São consideradas as seguintes regras:
 - Cada técnico tem direito a dois períodos de férias quinzenais por ano;
 - As quinzenas correspondem à primeira e segunda quinzenas do período;
 - Procura-se equilibrar a distribuição das férias nas duas quinzenas para garantir um número mínimo de profissionais trabalhando;
 - A distribuição das férias ao longo do ano é homogênea.

Inicialmente é calculado quantos técnicos serão considerados em férias. Dada a primeira regra acima, tem-se que o número de períodos de férias a serem distribuídos no ano é o dobro do número de técnicos. A parte inteira (i) da divisão do número de profissionais por 6 é o número mínimo de técnicos em férias em um mês. O resto desta divisão (r), maior que zero indica que em r multiplicado por 2 meses, são duas quinzenas por mês, haverá $i + 1$ funcionários em férias. O gerador de casos de teste define por sorteio se o caso de teste que está sendo criado terá i ou $i + 1$ funcionários em férias. Aleatoriamente são definidos quais i , ou $i + 1$, técnicos, ainda disponíveis em todo o período, serão gerados como em férias. Se a iteração em que o técnico foi sorteado é par, a segunda quinzena será indisponível por férias, caso contrário, a primeira quinzena.

b) Cálculo do número de folgas obrigatórias - O número de folgas obrigatórias a que os técnicos têm direito variam conforme o período disponível do técnico e o mês/ano para o qual a escala será planejada. São computados um dia de folga para cada domingo ou feriado que ocorrem nos dias em que o técnico está disponível para trabalho.

c) Geração dos dias de solicitação de folga – São gerados aleatoriamente até quatro datas como solicitação de folga, limitado ao número de folgas obrigatórias do técnico. As datas são geradas entre os dias em que o técnico tem disponibilidade, ou seja, se o técnico está com férias na primeira quinzena, os dias sorteados serão na segunda quinzena. A repetição de um dia enfatiza a solicitação deste dia para folga.

d) Geração do número de folgas adquiridas - Gera aleatoriamente o número de folgas adquiridas para cada técnico mantendo as proporções na distribuição do número de folgas conforme a Tabela 8.

TABELA 8: Proporção para distribuição de folgas adquiridas.

Número de folgas adquiridas	Proporção
0	52,30%
1	24,61%
2	20,00%
3	3,07%

e) Definição do dia da última folga no período anterior - Gera o dia da última folga no período anterior, aleatoriamente entre os oito últimos dias do período anterior.

f) Cálculo da prioridade do técnico - Usa o método ROC, Ordem de Classificação de Centróides, para atribuir uma prioridade às solicitações de folga do técnico. Quanto maior o valor, maior a prioridade. Maiores detalhes sobre o ROC no apêndice A.

8.3 EXPERIMENTOS

O objetivo dos experimentos é verificar como os parâmetros do aplicativo influenciam no comportamento do modelo e qual configuração destes parâmetros nos conduzem a melhores resultados. Os parâmetros que serão analisados são: os pesos das variáveis da FO, parâmetros da BT e do AG. Também a influência da variação dos meses do ano é analisada.

8.3.1 Solução Não-Tendenciosa

A solução não-tendenciosa (SNT) é aquela em que cada parcela da FO contribui da mesma forma que as demais, sem haver privilégio de alguma variável. Para obter uma SNT os pesos das parcelas da FO são calibrados de forma normalizar os valores que cada parcela pode assumir.

Para obter os pesos da SNT, o aplicativo foi executado 50 vezes aplicando a BT (foi definido o tamanho da Lista Tabu em 10 e o critério de parada, número máximo de iterações sem melhoria, em 50) para o caso de teste modelo com 20 técnicos. Todas execuções usaram os mesmos parâmetros exceto os pesos da FO, que receberam valores inteiros gerados aleatoriamente seguindo uma distribuição normal de 0 a 100. Dada a variação dos meses

exposta na seção 8.3.2, este processo foi repetido para cada mês, com o mesmo caso de teste, parâmetros e pesos gerados. Para cada mês foi calculada a proporção da média amostral de cada variável em relação a média amostral da variável Intervalo+ que apresentou, em todos os meses, o maior valor. A proporção foi calculada pela divisão da média da variável Intervalo+ pela média das demais variáveis. Finalmente foi calculada a média dos valores obtidos dos doze meses para compor um conjunto de pesos representativos para a SNT. A Tabela 9 apresenta os valores de pesos proporcionais obtidos para cada mês e a média anual.

TABELA 9: Pesos SNT mensais e anual.

Meses	Solicitações	Distrib. dos plantões	Fim-de-semana	Intervalo	Intervalo+	Folgas Adquiridas	Cobertura
Jan	11,32948	168,50090	3,12617	6,34036	1	3,18061	12,37055
Fev	18,48365	501,97470	8,70488	14,80059	1	2,21357	7,54740
Mar	1,57950	27,24594	0,46275	0,56476	1	1,81980	9,05869
Abr	37,95784	842,61000	26,12999	29,44271	1	4,17357	8,89385
Mai	4,31037	87,90390	1,40049	2,58670	1	1,28723	4,89226
Jun	13,25618	186,92300	4,58780	6,79258	1	2,48174	10,51451
Jul	6,96743	113,41080	1,89432	3,98123	1	2,08173	4,52704
Ago	12,70382	221,30880	3,52629	4,16299	1	40,06007	11,70426
Set	43,14655	1385,21800	215,30260	34,63166	1	4,44316	9,25285
Out	4,81379	90,59988	1,41170	2,70216	1	1,47359	6,41599
Nov	18,18564	518,65070	11,14537	11,89381	1	2,14414	9,64914
Dez	14,30470	320,17500	69,32767	8,13620	1	1,44037	6,80746
Média	15,58658	372,04347	28,91833	10,50298	1	5,56663	8,46950

As seguintes condições foram aplicadas em todos os experimentos: Caso de teste modelo com 20 técnicos, cobertura mínima de 14 técnicos permitindo o relaxamento na cobertura de uma pessoa, pesos SNT, tamanho da Lista Tabu em 10 e o número máximo de iterações na BT sem melhoria, em 50, sem executar o AG, Intervalo entre folgas máximo de 6 dias e mínimo de 4 dias. Qualquer alteração de um destes parâmetros, consta na descrição do experimento.

8.3.2 Influência da Variação dos Meses

Gerando escalas para o caso de teste modelo, com 20 enfermeiros, mantendo os parâmetros e variando os meses do ano, foram verificadas diferenças significativas no número de iterações realizadas na BT, na FO e no percentual de melhoria obtidos, conforme apresentados abaixo.

TABELA 10: Resultados obtidos aplicando a BT no caso de teste modelo.

Meses	Melhor Iteração	FO Obtida	% Melhoria
Janeiro	58	269,8919	67,72
Fevereiro	45	359,8236	48,84
Março	38	231,8952	74,81
Abril	41	504,8702	41,18
Mai	56	261,2090	68,42
Junho	104	191,4687	75,01
Julho	76	229,5414	74,35
Agosto	41	325,5816	61,14
Setembro	107	425,6445	43,90
Outubro	98	298,7984	65,13
Novembro	41	311,5793	57,85
Dezembro	37	225,0171	54,15
Média	61,8333	302,9434	61,04
Desvio Padrão	26,0539	87,2919	11,45
Menor valor	37	191,4687	41,18
Maior valor	107	504,8702	75,01

A Tabela 10 apresenta resultados obtidos em cada mês e dados estatísticos como média, desvio padrão, menor e maior valor.

O problema abordado trata do escalonamento dos dias de folga, o número de dias de folga é calculado com base no número de domingos e de feriados que acontecem em cada mês, nota-se então, a influência do período de planejamento sobre a escala.

Apresentamos na Tabela 11 as características de cada mês, de acordo com o calendário 2007. Incluímos um índice que chamamos de “grau de dificuldade”, que se trata da proporção do número de dias de folgas pelo número de dias “não-folgas” do mês (número de dias do mês menos o número de folgas deste mês).

TABELA 11: Características dos meses para o ano de 2007.

Mês	Nro. Dias	Nro. Feriados	Nro. Domingos	Nro. Folgas	Dias Trabalho	Nro. Sábados	Grau de dificuldade
Março	31	0	4	4	27	5	14,81
Agosto	31	0	4	4	27	4	14,81
Janeiro	31	1	4	5	26	4	19,23
Maiο	31	1	4	5	26	4	19,23
Julho	31	0	5	5	26	4	19,23
Outubro	31	1	4	5	26	4	19,23
Junho	30	1	4	5	25	5	20,00
Dezembro	31	1	5	6	25	5	24,00
Novembro	30	2	4	6	24	4	25,00
Fevereiro	28	2	4	6	22	4	27,27
Setembro	30	2	5	7	23	5	30,43
Abril	30	2	5	7	23	4	30,43
Média	30,42	1,08	4,33	5,42	25	4,33	21,67

A Tabela 11 apresenta os meses classificados em ordem crescente do grau de dificuldade e em ordem decrescente do número de sábados. Junho é o mês com características mais próximas da média. Março, com o menor número de folgas e maior tamanho de período apresenta um menor grau de dificuldade que podemos entender como um maior número de soluções viáveis. Para o mês de abril o espaço de soluções viáveis é menor, maior grau de dificuldade.

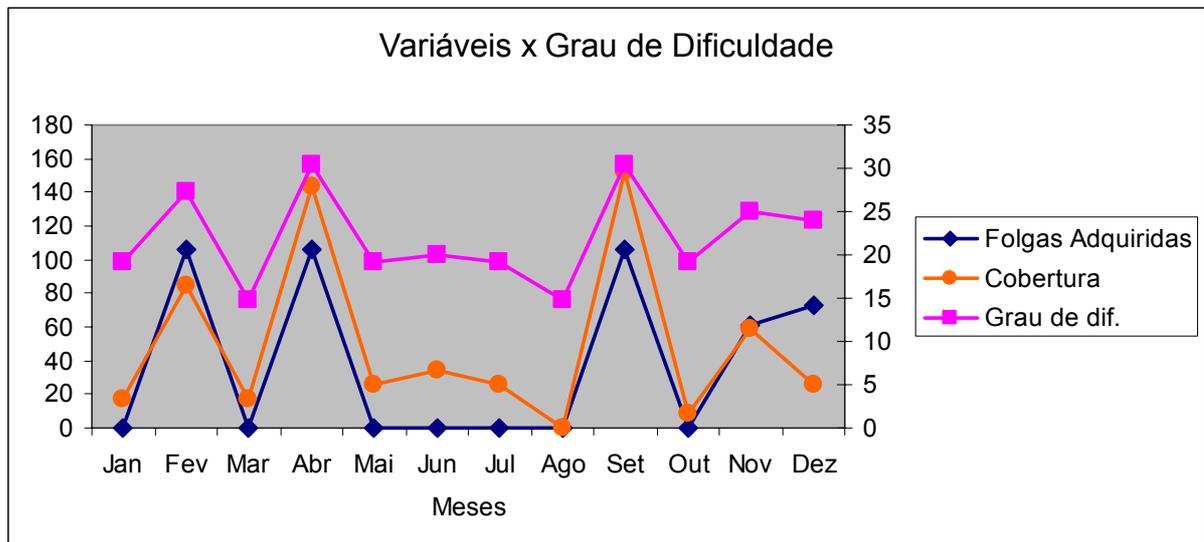
Cabe lembrar que o número de sábados, domingos e feriados móveis de cada mês é diferente de um ano para outro, portanto os graus de dificuldade também devem se alterar a cada troca de ano.

Para conhecer melhor o efeito da variação dos meses nas escalas foram analisadas as relações entre a variável Folgas Adquiridas com o grau de dificuldade e a variável Cobertura com o grau de dificuldade. Para tanto foi calculado a correlação conforme apresentado no apêndice B, utilizando os dados da Tabela 12:

TABELA 12: Correlação entre as variáveis f_a e f_c com grau de dificuldade.

Meses	Folgas Adquiridas	Cobertura	FO Obtida	Grau de dificuldade
Janeiro	0	16,9390	269,8919	19,23
Fevereiro	105,7654	84,6950	359,8236	27,27
Março	0	16,9390	231,8952	14,81
Abril	105,7654	143,9815	504,8702	30,43
Mai	0	25,4085	261,2090	19,23
Junho	0	33,8780	191,4687	20,00
Julho	0	25,4085	229,5414	19,23
Agosto	0	0	325,5816	14,81
Setembro	105,7654	152,4510	425,6445	30,43
Outubro	0	8,4695	298,7984	19,23
Novembro	61,2326	59,2865	311,5793	25,00
Dezembro	72,3658	25,4085	225,0171	24,00
Correlação	0,9354	0,9129	0,7200	

Comparando o grau de dificuldade com a variável Folgas Adquiridas obtemos um grau de correlação de 0,9354 e com a variável Cobertura, a correlação é de 0,9129. Graficamente obtemos a seguinte representação:

FIGURA 18: Comportamento das variáveis f_a e f_c e do Grau de dificuldade.

A Figura 18 apresenta o comportamento das variáveis Folgas Adquiridas, Cobertura e Grau de dificuldade para os meses de 2007. A linha referente ao grau de dificuldade está associada à escala da direita. Podemos afirmar que as variáveis Cobertura e Folgas adquiridas são fortemente dependentes do grau de dificuldade. A correlação entre as variáveis Cobertura

e Folgas adquiridas é de 0,8610, também bastante significativa. A explicação reside em que os meses com muitas folgas e poucos dias para distribuí-las são propensos a mais ocorrências de relaxamento na cobertura ideal e, por outro lado, é mais difícil conceder folgas adicionais.

Analisando as outras variáveis podemos observar os comportamentos ilustrados nos gráficos das Figuras 19 e 20.

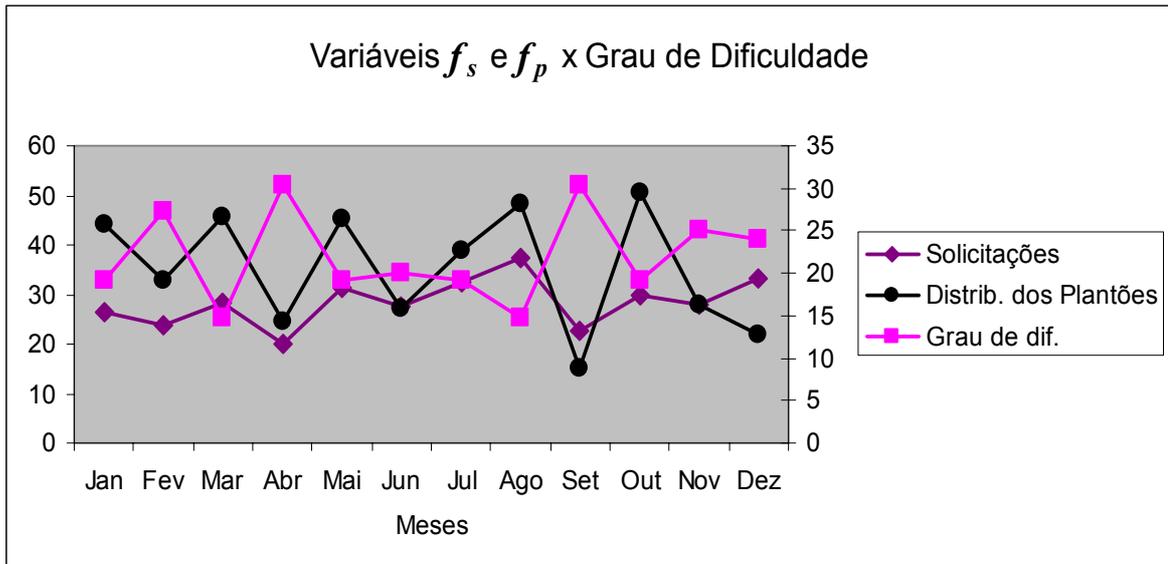


FIGURA 19: Comportamento das variáveis f_s e f_p e do Grau de dificuldade.

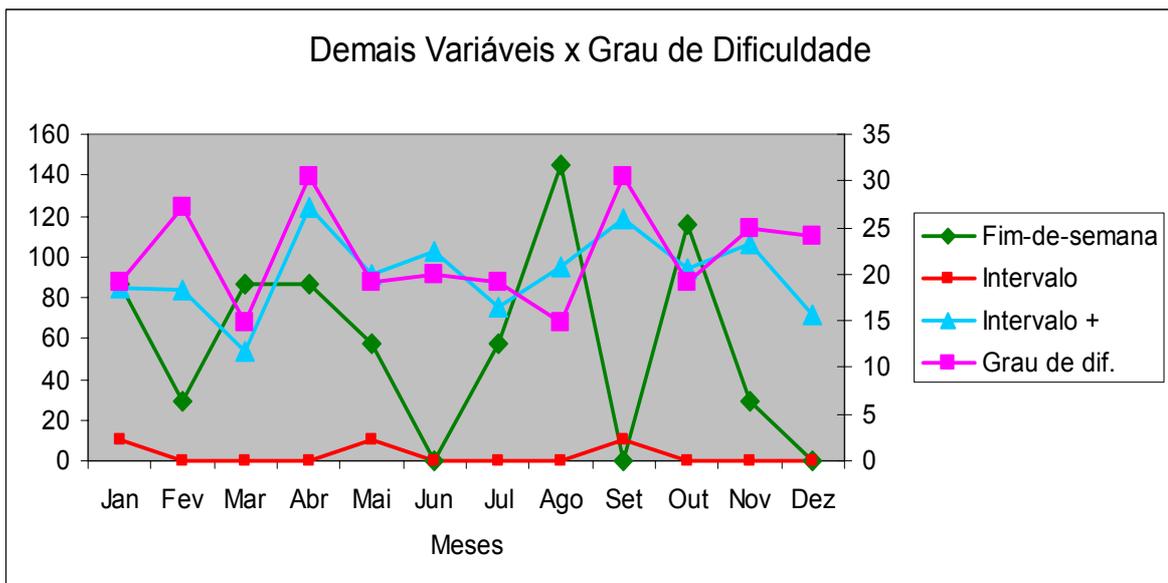


FIGURA 20: Comportamento das demais variáveis e do Grau de dificuldade.

O comportamento das demais variáveis e do grau de dificuldade estão representados nos gráficos das Figuras 19 e 20. Em ambos os gráficos, a linha referente ao grau de dificuldade está associada à escala da direita. Como podemos observar, as variáveis Solicitações e Distribuição dos Plantões apresentam um comportamento inversamente proporcional ao grau de dificuldade. São privilegiadas pela dificuldade em atender as demais variáveis. A correlação entre a variável Solicitações e o grau de dificuldade é de -0,7434. Para a variável Distribuição dos plantões é de -0,8286. Estas correlações são mais fracas que as anteriormente analisadas, mas são significativas.

Para as variáveis Fim-de-semana, Intervalo e Intervalo+ as correlações encontradas foram -0,5478, 0,1106 e 0,6367 respectivamente. A variável Intervalo+ depende, além dos parâmetros Intervalo máximo, também de Relaxamento de intervalo e de Intervalo mínimo. Testes com o parâmetro Intervalo mínimo igual a zero, ou seja, dias de folga consecutivos não são penalizados, mostraram que a variável intervalo assume um comportamento diferente do observado nos testes em que o Intervalo mínimo foi definido como 4.

TABELA 13: Influência do parâmetro Intervalo Mínimo.

Meses	Intervalo Mínimo = 4		Intervalo Mínimo = 0		Grau de dificuldade
	Intervalo	Intervalo +	Intervalo	Intervalo +	
Janeiro	10,503	85	0	49	19,23
Fevereiro	0	84	0,0000	31	27,27
Março	0	54	10,503	45	14,81
Abril	0	124	0	33	30,43
Maio	10,503	91	0	33	19,23
Junho	0	103	0	75	20,00
Julho	0	75	0	33	19,23
Agosto	0	95	0	68	14,81
Setembro	10,503	119	0	36	30,43
Outubro	0	94	0	38	19,23
Novembro	0	106	0	40	25,00
Dezembro	0	72	0	28	24,00
Correlação	0,1106	0,6367	-0,4174	-0,5102	

Conforme apresentado na Tabela 13, a correlação das variáveis Intervalo e Intervalo+ com o grau e dificuldade dos meses, depende do parâmetro Intervalo mínimo entre folgas. Estas variáveis penalizam os intervalos entre folgas além, ou aquém, dos limites informados nos parâmetros. Esta variável é responsável para que as folgas sejam distribuídas equidistantemente. O Intervalo mínimo deve ser aplicado quando dias de folgas consecutivos

são indesejados. A correlação entre as variáveis Intervalo e Intervalo+ são de 0,1976 e de 0,0546 para Intervalo mínimo definido como 4 e 0, respectivamente.

Por sua vez, o comportamento da FO em relação ao grau de dificuldade é apresentado no gráfico abaixo, Figura 21. A linha referente ao grau de dificuldade está associada à escala da direita.

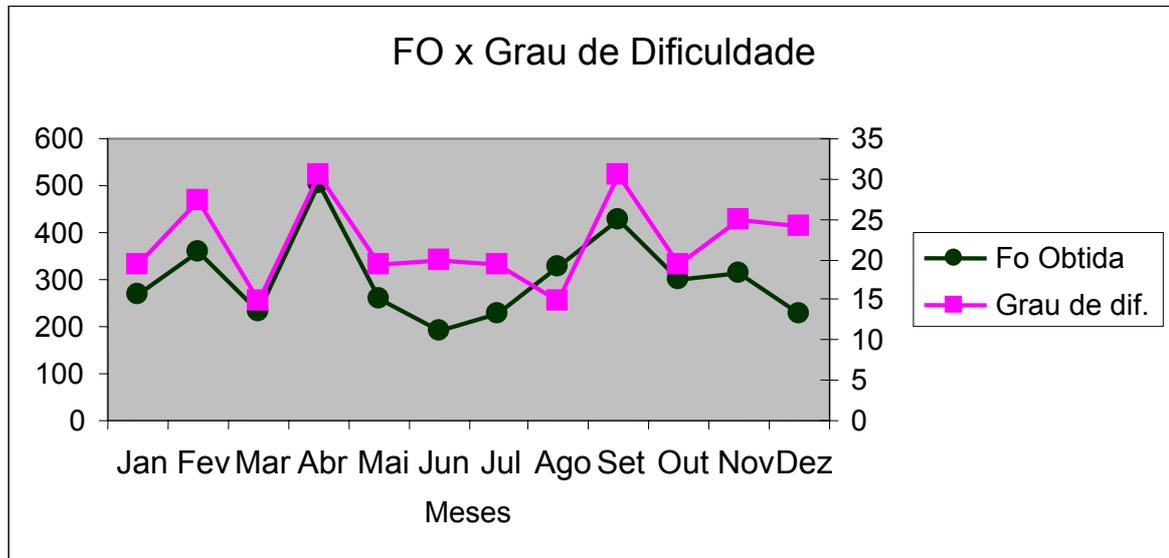


FIGURA 21: Comportamento da FO e Grau de dificuldade.

A correlação da FO com o grau de dificuldade é de 0,72, bastante significativo mas não tão forte. Devemos considerar que, mesmo com algumas variáveis tendo correlação inversa com o grau de dificuldade, a tendência da FO é ter uma relação diretamente proporcional. Quanto mais domingos e feriados ocorrem no período, mais folgas devem ser distribuídas e mais difícil fica de conseguir atender as restrições de cobertura. Um fator que atua em conjunto com o número de dias de folga é o número de dias do período, que pode ser de 28 a 31 dias. Quanto mais longo o período, mais fácil distribuir as folgas, maior é o espaço de soluções. O número de dias do período anterior ao que está sendo planejado afeta a escala visto que entra no cálculo do intervalo entre a última folga do período anterior e a primeira folga do período corrente, conforme explicado na seção 6.2.

Outro aspecto que também tem influência é a quantidade de sábados, além dos domingos e feriados no período. Se por um lado um maior número de domingos e feriados exerce uma influência negativa para a restrição de cobertura, por outro, o maior número de sábados, domingos e feriados facilita o atendimento às restrições de Fim-de-semana e Distribuição dos plantões, detalhadas na seção 6.3.

8.3.3 Resultados com Pesos da SNT

Os pesos da SNT foram aplicados em dois casos de teste para os meses de março, abril e junho que apresentam graus de dificuldades menor, maior e médio, conforme discutido na seção 8.3.2, e demais parâmetros conforme definido em 8.3.1. Os casos de teste possuem as seguintes características:

- Caso 1: Trata de 20 técnicos, cobertura mínima de 14 técnicos permitindo o relaxamento na cobertura de uma pessoa;
- Caso 2: Trata de 40 técnicos, cobertura mínima de 28 técnicos permitindo o relaxamento na cobertura de até duas pessoas.

Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 14:

TABELA 14: Resultados obtidos com os pesos SNT.

	Caso de Teste 1			Caso de Teste 2		
	Março	Abril	Junho	Março	Abril	Junho
Grau de dificuldade mês	14,81	30,43	20,00	14,81	30,43	20,00
Solicitações	28,35969	19,99716	27,45815	43,35776	28,35985	37,40102
Distrib. dos Plantões	45,84159	24,37129	27,13256	47,62048	24,59935	34,86339
Fim-de-semana	86,7549	86,7549	0	173,5098	173,5098	57,8366
Intervalo	0	0	0	0	0	10,503
Intervalo +	54	124	103	145	184	152
Folgas Adquiridas	0	105,7654	0	0	178,1312	16,6998
Cobertura	16,939	143,9815	33,878	50,817	398,0665	59,2865
FO inicial	920,5951	858,3768	766,2365	1695,448	1645,399	1257,275
FO obtida	231,8952	504,8702	191,4687	460,305	986,6667	368,5903
% Melhoria	74,81	41,18	75,01	72,85	40,03	70,68
Melhor iteração	38	41	104	89	155	138

É possível observar o efeito direto do grau de dificuldade nas variáveis Cobertura e Folgas Adquiridas: com maior grau de dificuldade ocorrem mais relaxamentos da cobertura e é mais difícil conceder mais folgas além das obrigatórias. Em junho, mês com grau de dificuldade mais próximo da média, ocorreram os menores valores de FO, tanto a inicial como a obtida, mas não garantiu o melhor percentual de melhoria, visto que este depende da qualidade da escala inicial. Quanto ao tamanho do caso de teste, nota-se que no caso de teste

de menor número de técnicos foram obtidos melhores resultados e em um número bem menor de iterações, já que o espaço de soluções é menor, mais rapidamente a BT converge para uma boa solução. O comportamento das FOs obtidas nos testes estão representados no gráfico abaixo:

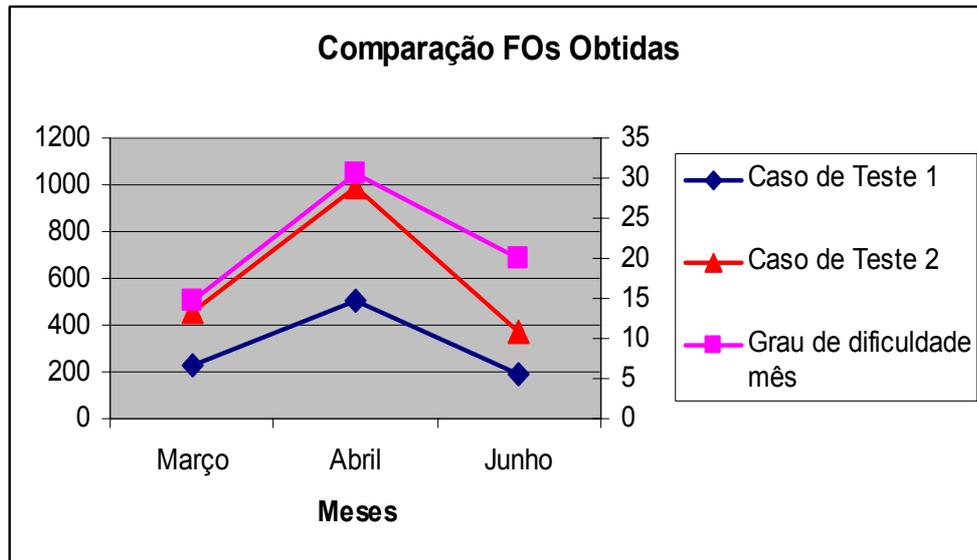


FIGURA 22: Variação da FO nos diferentes meses.

No gráfico da Figura 22 nota-se a variação da escala de valores devido a diferença de tamanho dos casos de teste, quanto maior o caso de teste mais ocorrências de penalidades, maior o valor da FO. As correlações do grau de dificuldade e a FO do Caso de Teste 1 é de 0,9, e com o Caso de Teste 2 é de 0,89. O valor de FO mais alto no mês de abril se deve ao maior grau de dificuldade em achar uma melhor solução.

8.3.4 Privilegiando Variáveis

Alterando os valores dos pesos é possível anular ou privilegiar a participação da respectiva variável na função objetivo. A fim de avaliar o comportamento das demais variáveis quando uma é privilegiada, o modelo foi executado 42 vezes, com o valor do respectivo peso da SNT de uma variável multiplicado por 1, 2, 5, 10, 50 e 100 a cada execução. Nestes experimentos foi utilizado o caso de teste modelo com 20 técnicos, cobertura mínima de 14 técnicos permitindo o relaxamento na cobertura de uma pessoa e demais parâmetros conforme definido em 8.3.1. O objetivo é conhecer quais variáveis são

conflitantes entre si, quais são diretamente relacionadas e a configuração dos pesos que nos leva a um melhor resultado.

8.3.4.1 Variável Solicitações

Favorecendo a variável Solicitações e mantendo para as demais variáveis os pesos da SNT, foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 15.

TABELA 15: Resultados obtidos privilegiando o peso da variável f_s .

	SNT	x2	x5	x10	x50	x100
Solicitações	27,4582	50,6657	85,5901	111,8080	9,9467	15,9968
Distrib. dos Plantões	27,1326	27,1326	27,1326	23,6601	23,6601	23,6601
Fim-de-semana	0	0	0	28,9183	28,9183	28,9183
Intervalo	0	0	0	10,5030	21,0060	21,0060
Intervalo +	103	124	138	130	207	232
Folgas Adquiridas	0	0	0	0	0	0
Cobertura	33,8780	25,4085	25,4085	25,4085	50,8170	50,8170
FO inicial	766,2365	811,6132	947,7431	1174,6260	2989,6920	5258,5250
FO obtida	191,4687	227,2068	276,1311	330,2979	341,3481	372,3982
% Melhoria	75,01	72,01	70,86	71,88	88,58	92,92
Melhor iteração	104	42	56	64	122	76

Como podemos observar, os efeitos de privilegiar a variável Solicitações atingem mais as variáveis Cobertura, Intervalo+ e Intervalo e de forma inversamente proporcional. O comportamento destas variáveis está representado no gráfico da figura 23. As demais variáveis não apresentaram relações significativas.

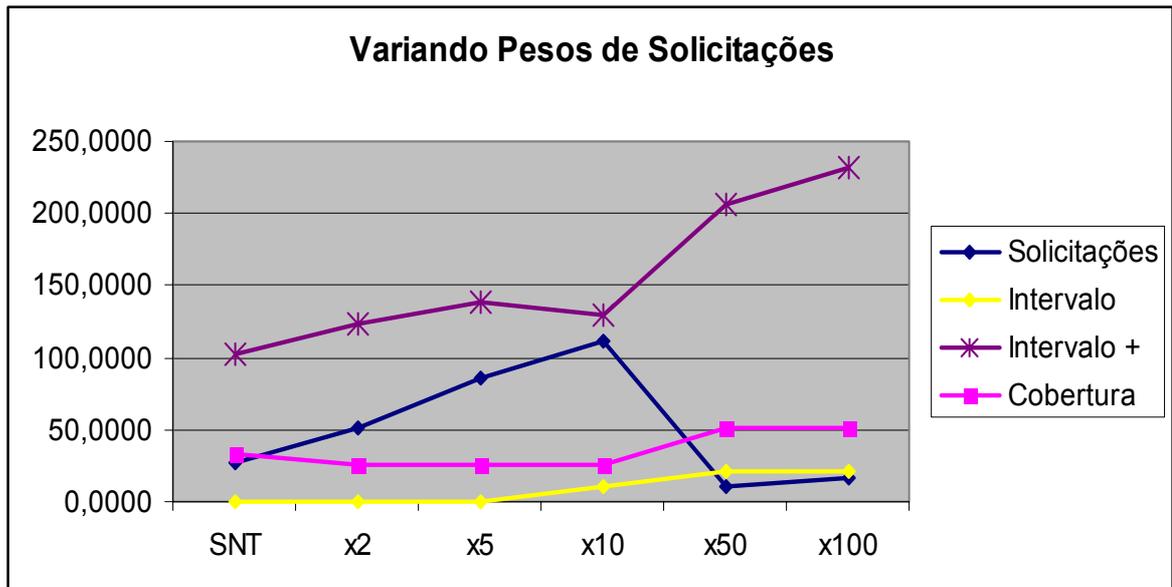


FIGURA 23: Efeitos da variável f_s privilegiada.

O melhor valor de Solicitações é obtido com o peso SNT multiplicado por 50, onde o número de iterações da BT é maior. Após este ponto o valor fica estável. As demais variáveis também estabilizam a partir deste ponto com exceção de Intervalo+ que continua aumentando.

8.3.4.2 Variável Distribuição dos Plantões

O próximo experimento teve a variável Distribuição dos Plantões, f_p , privilegiada. As demais variáveis tiveram os respectivos pesos da SNT mantidos. A Tabela 16 resume os resultados obtidos.

TABELA 16: Resultados obtidos privilegiando o peso da variável f_p .

	SNT	x2	x5	x10	x50	x100
Solicitações	27,4582	26,1397	30,4908	28,0109	26,4276	25,5072
Distrib. dos Plantões	27,1326	54,2651	0,0002	0,0004	0,0022	0,0044
Fim-de-semana	0	0	86,7549	86,7549	86,7549	86,7549
Intervalo	0	0	0	0	10,5030	0
Intervalo +	103	132	87	107	111	115
Folgas Adquiridas	0	0	5,5666	5,5666	5,5666	5,5666
Cobertura	33,8780	25,4085	8,4695	0	8,4695	0
FO inicial	766,2365	826,4628	1007,1410	1308,2720	3717,3210	6728,6320
FO obtida	191,4687	237,8133	218,2820	227,3328	248,7238	232,8331
% Melhoria	75,01	71,23	78,33	82,52	93,31	96,53
Melhor iteração	104	54	103	73	37	79

Nota-se que com o privilégio dado à variável Distribuição dos Plantões as variáveis Fim-de-semana, Folgas Adquiridas e Cobertura são atingidas mais intensamente. Sendo as duas primeiras de forma inversamente proporcional e Cobertura diretamente proporcional. Como há uma forte correlação, inversa, entre as variáveis Folgas Adquiridas e Cobertura, conforme discutido na seção 8.3.2, pode-se supor que o efeito em Folgas Adquiridas adveio do comportamento de Cobertura e não da Distribuição dos Plantões. O gráfico da Figura 24 mostra o comportamento das variáveis mais afetadas neste experimento.

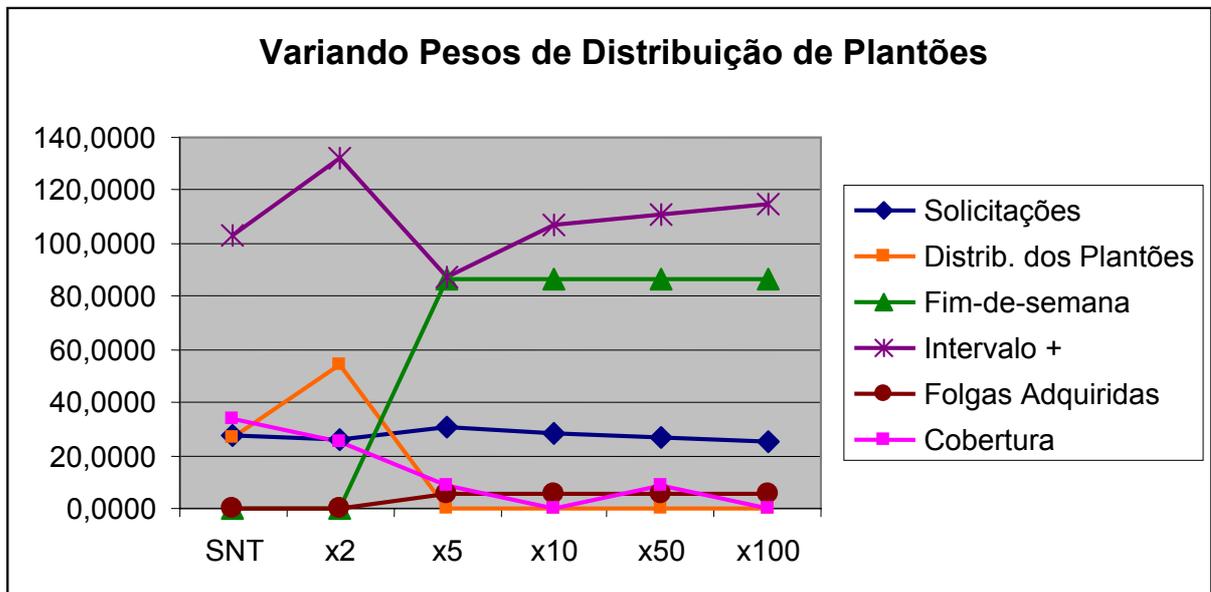


FIGURA 24: Efeitos da variável f_p privilegiada.

Com cinco vezes o peso da SNT a variável f_p atinge o melhor resultado. E neste ponto Fim-de-semana, o seu máximo, a correlação entre estas duas variáveis é de -0,926. Intervalo+ acompanha a variável Distribuição dos Plantões, mas apresenta tendência de alta mesmo com a estabilização de f_p .

8.3.4.3 Variável Fim-de-semana

Os testes com a variável Fim-de-semana, f_f , com este caso de teste, não forneceram subsídios para análise, os resultados de todas as variáveis se mantiveram inalterados para todas as variações de peso, apesar de, na solução inicial, 14 dos 20 técnicos violarem esta restrição. Esta variável penaliza as violações da restrição pertinente a regra que cada técnico tem direito a uma folga em um sábado mais uma folga em um domingo ou feriado. Com os pesos da SNT, f_f está sendo atendida plenamente. Resultados na Tabela 17 a seguir.

TABELA 17: Resultados obtidos privilegiando o peso da variável f_f .

	SNT	x2	x5	x10	x50	x100
Solicitações	27,4582	27,4582	27,4582	27,4582	27,4582	27,4582
Distrib. dos Plantões	27,1326	27,1326	27,1326	27,1326	27,1326	27,1326
Fim-de-semana	0	0	0	0	0	0
Intervalo	0	0	0	0	0	0
Intervalo +	103	103	103	103	103	103
Folgas Adquiridas	0	0	0	0	0	0
Cobertura	33,8780	33,8780	33,8780	33,8780	33,8780	33,8780
FO inicial	766,2365	1171,0940	2385,6640	4409,9470	20604,2100	40847,0500
FO obtida	191,4687	191,4687	191,4687	191,4687	191,4687	191,4687
% Melhoria	75,01	83,65	91,97	95,66	99,07	99,53
Melhor iteração	104	104	104	104	104	104

8.3.4.4 Variáveis Intervalo e Intervalo+

No experimento variando o peso de Intervalo, f_i , observa-se que esta variável é plenamente atendida independente do seu peso. A solução inicial aponta quatro ocorrências desta pena. Porém as demais variáveis sofreram pequenas oscilações, conforme resultados na Tabela 18.

TABELA 18: Resultados obtidos privilegiando o peso da variável f_i .

	SNT	x2	x5	x10	X50	x100
Solicitações	27,4582	28,2742	29,0219	29,0219	29,0219	29,0219
Distrib. dos Plantões	27,1326	33,2305	33,2305	33,2305	33,2305	33,2305
Fim-de-semana	0	28,9183	28,9183	28,9183	28,9183	28,9183
Intervalo	0	0	0	0	0	0
Intervalo +	103	121	119	119	119	119
Folgas Adquiridas	0	0	5,5666	5,5666	5,5666	5,5666
Cobertura	33,8780	16,9390	16,9390	16,9390	16,9390	16,9390
FO inicial	766,2365	808,2484	934,2841	1144,3440	2824,8210	4925,4170
FO obtida	191,4687	228,3619	232,6762	232,6762	232,6762	232,6762
% Melhoria	75,01	71,75	75,09	79,67	91,76	95,28
Melhor iteração	104	70	41	41	41	41

O aumento do peso de f_i força a busca em regiões diversas do espaço de soluções fazendo com que se obtenha resultados diferentes para as demais variáveis e em um menor número de iterações. Graficamente obtemos a seguinte representação:

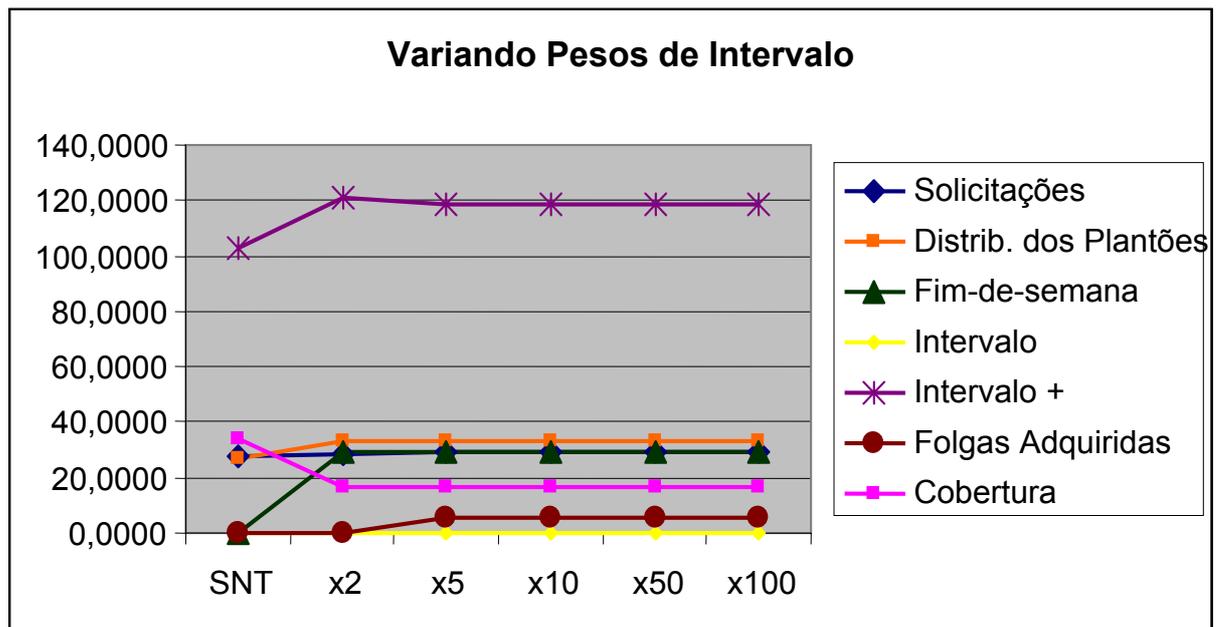


FIGURA 25: Efeitos da variável f_i privilegiada.

As oscilações dos valores ocorrem até o peso SNT ser quintuplicado, após este ponto é estabilizado. Observou-se nos testes realizados no decorrer deste estudo que esta variável geralmente é atendida ao custo de aumento na variável Intervalo+.

Privilegiando a variável Intervalo+, f_{i+} , obtemos os resultados apresentados pela Tabela 19 e no gráfico da Figura 26.

TABELA 19: Resultados obtidos privilegiando o peso da variável f_{i+} .

	SNT	x2	x5	x10	x50	x100
Solicitações	27,4582	30,8373	31,8738	45,3767	30,5587	29,4908
Distrib. dos Plantões	27,1326	27,1326	40,1296	60,2262	30,9607	36,8419
Fim-de-semana	0	0	57,8366	404,8562	144,5915	144,5915
Intervalo	0	21,006	21,0060	42,0120	84,024	73,521
Intervalo +	103	122	220	1080	1150	2300
Folgas Adquiridas	0	33,3996	55,6660	105,7654	83,4990	83,4990
Cobertura	33,8780	33,8780	50,8170	0	50,8170	42,3475
FO inicial	766,2365	874,2365	1198,2370	1738,2370	6058,2360	11458,2400
FO obtida	191,4687	268,2535	477,3290	673,6656	1574,4510	2710,2920
% Melhoria	75,01	69,32	60,16	61,24	74,01	76,27
Melhor iteração	104	68	38	70	55	101

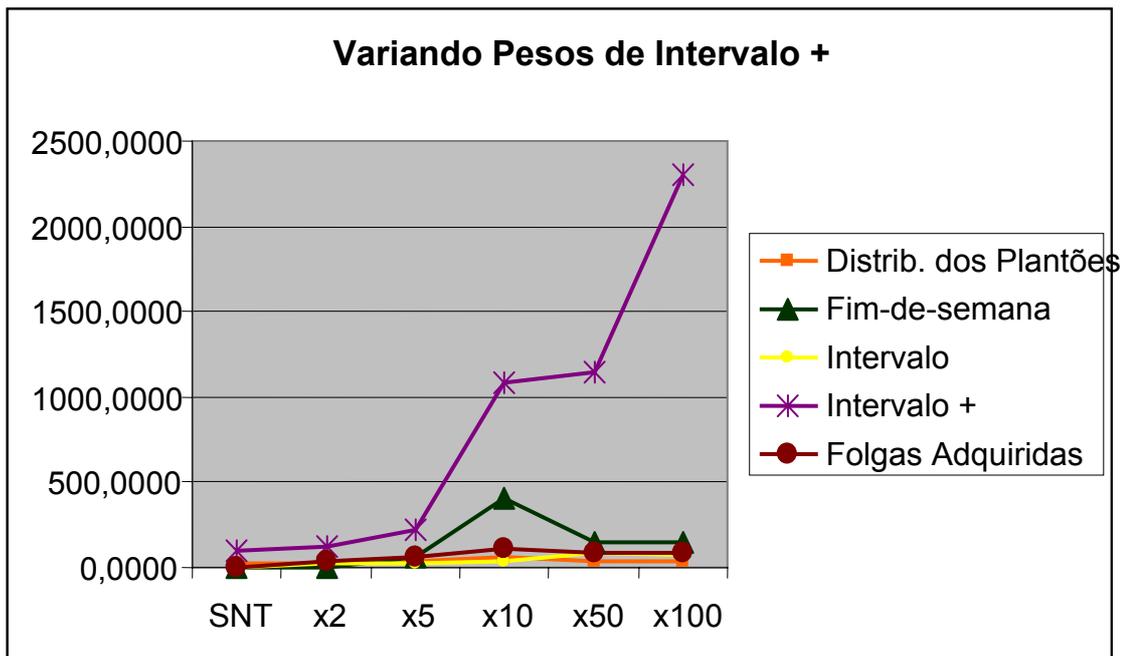


FIGURA 26: Efeitos da variável f_{i+} privilegiada.

A variável mais afetada é a Intervalo. Os intervalos maiores que são penalizados pela f_{i+} são diluídos em vários intervalos menores, de um dia, e distribuídos na escala e estes aumentam a f_i . Como f_{i+} também aumenta em função de intervalos entre folgas menores que o limite mínimo, o número de folgas adquiridas concedidas diminui, pois mais folgas geram intervalos mais curtos. Com privilégios, a f_{i+} sobrepõe-se às variáveis Fim-de-semana e Distribuição dos plantões. Os resultados obtidos para a variável f_{i+} estão distorcidos pelo multiplicador do valor do peso. Para conhecer o real valor, serão divididos por este multiplicador, conforme mostra a Tabela 20.

TABELA 20: Convertendo resultados da variável f_{i+} .

	SNT	x2	x5	x10	x50	x100
Intervalo + Obtido	103	122	220	1080	1150	2300
Valor convertido	103	61	44	108	23	23

Com os valores de f_{i+} convertidos observa-se que os melhores resultados são obtidos quando os pesos estão multiplicados por 50 e 100, o que indica que esta restrição é de difícil solução.

8.3.4.5 Variável Folgas Adquiridas

Variando o peso de Folgas Adquiridas, f_a , observa-se um comportamento semelhante ao ocorrido para a variável Intervalo. A variável f_a é plenamente atendida, independente do peso, mesmo assim as demais variáveis sofreram pequenas oscilações, conforme resultados apresentados na Tabela 21.

TABELA 21: Resultados obtidos privilegiando o peso da variável f_a .

	SNT	x2	x5	x10	x50	x100
Solicitações	27,4582	25,9530	25,9530	25,9530	25,9530	25,9530
Distrib. dos Plantões	27,1326	33,2305	33,2305	33,2305	33,2305	33,2305
Fim-de-semana	0	28,9183	28,9183	28,9183	28,9183	28,9183
Intervalo	0	10,5030	10,5030	10,5030	10,5030	10,5030
Intervalo +	103	119	119	119	119	119
Folgas Adquiridas	0	0	0	0	0	0
Cobertura	33,8780	16,9390	16,9390	16,9390	16,9390	16,9390
FO inicial	766,2365	872,0031	1189,3010	1718,1310	5948,7710	11237,0700
FO obtida	191,4687	234,5437	234,5437	234,5437	234,5437	234,5437
% Melhoria	75,01	73,10	80,28	86,35	96,06	97,91
Melhor iteração	104	48	48	48	48	48

Apenas duplicando o peso de f_a , a busca de soluções segue por outras regiões do espaço de soluções, obtendo resultados diferentes para as demais variáveis e em um menor número de iterações. Estes resultados podem ser visualizados no gráfico da Figura 27.

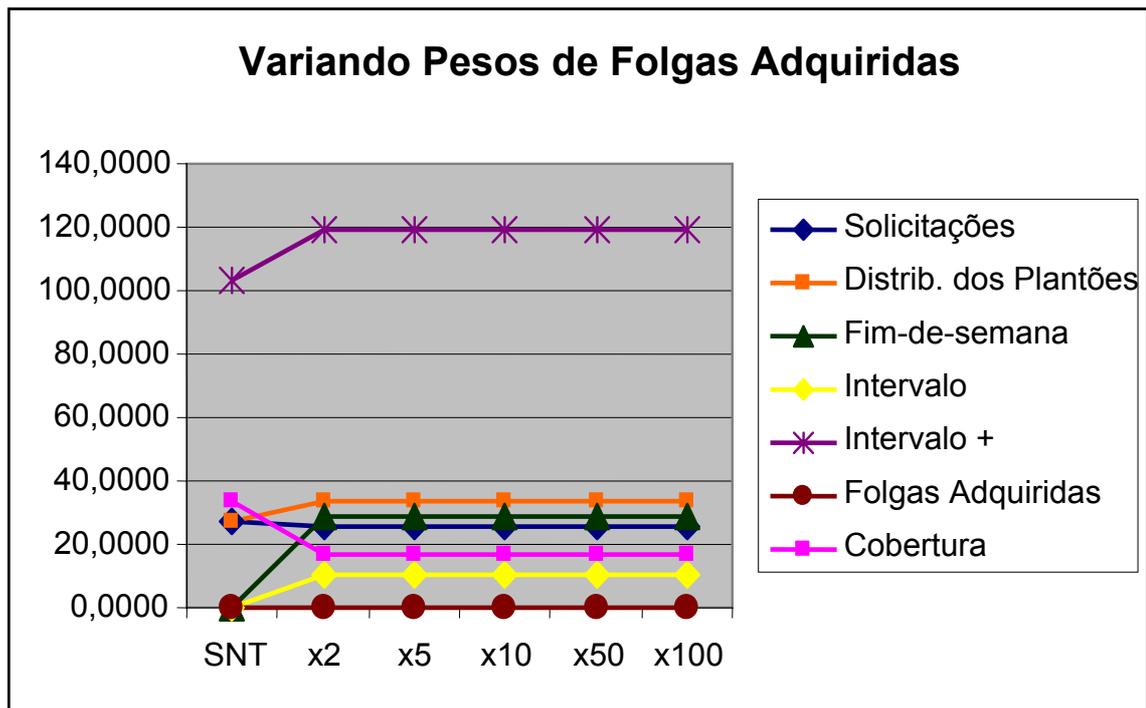


FIGURA 27: Efeitos da variável f_a privilegiada.

8.3.4.6 Variável Cobertura

Os experimentos com a variável Cobertura, f_c , apresentam uma situação diversa dos demais, visto que esta variável tem valor zero na solução inicial. Esta condição é válida para o mês em que o caso de teste foi aplicado. A Tabela 22 apresenta os dados coletados nestes experimentos.

TABELA 22: Resultados obtidos privilegiando o peso da variável f_c .

	SNT	x2	x5	x10	x50	x100
Solicitações	27,4582	26,7050	27,1280	27,1280	27,1280	27,1280
Distrib. dos Plantões	27,1326	33,2305	33,9157	33,9157	33,9157	33,9157
Fim-de-semana	0	28,9183	173,5098	173,5098	173,5098	173,5098
Intervalo	0	0	10,503	10,503	10,503	10,503
Intervalo +	148	103	122	122	122	122
Folgas Adquiridas	0	0	5,5666	5,5666	5,5666	5,5666
Cobertura	33,8780	16,9390	0	0	0	0
FO inicial	766,2365	766,2365	766,2365	766,2365	766,2365	766,2365
FO obtida	191,4687	253,7927	372,6230	372,6230	372,6230	372,6230
% Melhoria	75,01	66,73	51,37	51,37	51,37	51,37
Melhor iteração	104	46	65	65	65	65

Conforme observado nos experimentos realizados durante o desenvolvimento desta pesquisa, f_c tende a aumentar à medida que a variável Folgas Adquiridas diminui, e vice-versa. Os resultados, conforme a Tabela 22, confirmam este comportamento.

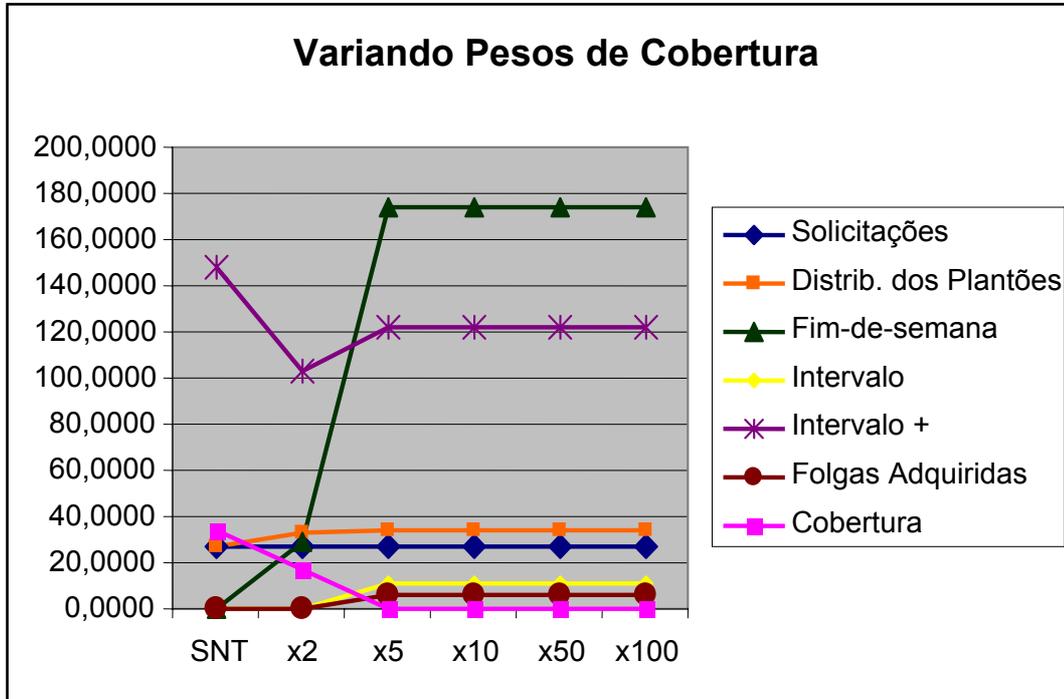


FIGURA 28: Efeitos da variável f_c privilegiada.

Analisando o gráfico da Figura 28 observamos que também as variáveis Fim-de-semana, Intervalo e Distribuição dos plantões, também são inversamente proporcionais à Cobertura. Com o peso quintuplicado, Cobertura fica estável assim como as demais variáveis, inclusive Intervalo+.

8.3.5 Experimentos com os Parâmetros da BT

As metaheurísticas têm seu funcionamento regulado por parâmetros. É necessário realizar vários experimentos para conhecer como estes parâmetros afetam a qualidade do resultado obtido e assim conhecer a configuração mais vantajosa para o modelo em estudo. Entre os parâmetros da Busca Tabu, o tamanho da Lista Tabu, chamaremos de LT, está vinculado às estratégias de diversificação da vizinhança, quanto maior a lista, maior a diversificação. O parâmetro BT_{max} , número máximo de iterações sem obtenção de melhor

resultado influencia as estratégias de intensificação, um valor mais alto possibilita mais pesquisas no local.

Para perceber a influência de cada parâmetro da BT nas variáveis de decisão, foram testadas variações destes parâmetros usando o caso de teste conforme especificado na seção 8.3.1, considerando o mês de junho, que apresenta um grau médio de dificuldade. Para observar o efeito do LT foram realizados experimentos com listas de tamanhos 5, 10, 20, 30, 50, 100 e 500. Os resultados obtidos estão na Tabela 23.

TABELA 23: Resultados obtidos com a variação do LT.

Tamanho Lista Tabu	5	10	20	30	50	100	500
Solicitações	27,59038	27,45815	27,45815	25,95565	25,95565	25,95565	25,95565
Distrib. dos Plantões	27,13256	27,13256	27,13256	27,13256	27,13256	27,13256	27,13256
Fim-de-semana	0	0	0	0	0	0	0
Intervalo	0	0	0	0	0	0	0
Intervalo +	104	103	103	111	112	112	112
Folgas Adquiridas	0	0	0	0	0	0	0
Cobertura	33,878	33,878	33,878	33,878	33,878	33,878	33,878
FO Obtida	192,6009	191,4687	191,4687	197,9662	198,9662	198,9662	198,9662
% Melhoria	74,86	75,01	75,01	74,16	74,03	74,03	74,03
Melhor iteração	58	104	72	40	40	40	40

Analisando a Tabela 23 acima, nota-se que com uma Lista Tabu de tamanho 20 é obtido o melhor resultado e com mais baixo número de iterações. A variável Solicitações é favorecida enquanto Intervalo+ é desfavorecida com o aumento da Lista Tabu. As listas de maior tamanho conduzem a busca para regiões mais afastadas de onde pode estar a melhor solução. Este comportamento é reforçado neste caso pois não foi implementada função de aspiração na BT para permitir o retorno à região de melhor FO.

Para observar o efeito do número de iterações sem melhorias, BT_{max} , foram realizados experimentos considerando 10, 20, 30, 50 e 100 iterações. Os resultados obtidos estão na Tabela 24 a seguir.

TABELA 24: Resultados obtidos com a variação do BT_{max} .

BT Max	10	20	30	50	100
Solicitações	27,45815	27,45815	27,45815	27,45815	27,45815
Distrib. dos Plantões	27,13256	27,13256	27,13256	27,13256	27,13256
Fim-de-semana	0	0	0	0	0
Intervalo	0	0	0	0	0
Intervalo +	108	107	103	103	103
Folgas Adquiridas	0	0	0	0	0
Cobertura	33,878	33,878	33,878	33,878	33,878
FO Obtida	196,4687	195,4687	191,4687	191,4687	191,4687
% Melhoria	74,36	74,49	75,01	75,01	75,01
Melhor iteração	44	56	104	104	104

Como é possível observar na Tabela 24, a intensificação na busca promovida pelo aumento da BT_{max} favorece apenas a variável Intervalo+.

Quanto ao baixo número de iterações em que é alcançada a melhor iteração, pode-se afirmar que a existência de muitas restrições levam a um alto número de soluções inviáveis, reduzindo o espaço de busca e assim promovendo uma rápida convergência à uma boa solução. Para ilustrar, nas explorações de vizinhanças encontramos as seguintes proporções entre movimentos realizados e movimentos viáveis:

TABELA 25: Aproveitamento dos movimentos realizados.

Vizinhança	20 Técnicos		40 Técnicos		Aproveitamento
Movimentos	Realizados	Viáveis	Realizados	Viáveis	
Diversificação	390	79	690	169	20 a 30%
Swap	44.414	2.107	149.814	6.888	5 a 10%

A Tabela 25 apresenta resultados encontrados nos registros de execução dos experimentos realizados para casos de testes com 20 e 40 técnicos. Foram extraídos resultados gerados após a exploração de uma vizinhança em uma iteração da BT. É possível observar o baixo número de movimentos viáveis entre todos os movimentos gerados.

Entre os valores examinados, os melhores resultados são obtidos usando um BT_{max} igual a 50, forçando a intensificação, e LT igual a 10 ou 20.

8.3.6 Experimentos com BT e AG

“Embora seja possível aumentar o peso de cada parcela da função objetivo para aumentar a importância da restrição correspondente, a Busca Tabu não consegue alcançar soluções plenamente satisfatórias” (BURKE et al, 1998).

No modelo proposto, a escala resultante da primeira execução da BT pode ou não ser submetida a uma etapa de diversificação e submetida novamente à BT. O AG será executado tantas vezes quanto indicado pelo parâmetro número de diversificações. Este ciclo termina quando o número de diversificações informado for atingido ou quando o AG não conseguir melhorar a escala. Maiores detalhes sobre este processo são encontrados na seção 7.3.

Com o objetivo de medir o ganho na FO e o impacto no tempo de processamento foram realizados experimentos ativando o processo de diversificação da escala pelo AG. Em alguns casos o AG não melhorou a escala recebida da BT. Porém nos testes em que houve melhorias os resultados obtidos foram satisfatórios. Os casos de insucesso estão resumidos na Tabela 26, abaixo.

TABELA 26: Casos de Teste em que o AG não introduziu melhoria.

Mês	Número de Diversificações	Tamanho da População	Número de gerações	FO Inicial	FO Obtida	% Melhoria
Junho	5	10	5	766,2365	197,9662	74,16
Junho	5	10	10	766,2365	197,9662	74,16
Junho	5	10	15	766,2365	197,9662	74,16
Junho	5	10	20	766,2365	197,9662	74,16
Junho	5	20	5	766,2365	197,9662	74,16
Junho	5	20	10	766,2365	197,9662	74,16
Junho	5	20	15	766,2365	197,9662	74,16
Junho	5	20	100	766,2365	197,9662	74,16
Janeiro	5	10	5	836,144	243,4225	70,88
Janeiro	5	10	10	836,144	243,4225	70,88

Os experimentos apresentados na Tabela 26 foram executados com casos de teste de 20 técnicos, $BT_{max} = 50$ e $LT = 30$. Apesar da variação dos parâmetros Tamanho da população e número de gerações, o AG não conseguiu melhorar a escala resultante da BT.

Em outros dois casos, também com 20 técnicos, $BT_{max} = 50$ e $LT = 30$, mês de janeiro, tamanho da população 10, e com 5 e 10 gerações, o AG não promoveu melhorias. Alterando o tamanho da população inicial para 20, tamanho de toda a população, para 5 gerações, foram obtidos os seguintes resultados:

TABELA 27: Caso de Teste: população inicial igual a toda população.

Etapa	Nro.Cruzamentos/ Melhor Iteração	FO Inicial	FO Obtida	% Melhoria	Tempo
BT	73	836,144	243,4225	70,89	00:36:44
AG	100	243,4225	235,6645	3,19	00:00:01
BT	72	235,6645	207,923	11,77	00:22:41
AG	118	207,923	207,923	0,00	00:00:01

A Tabela 27 acima apresenta os resultados de um caso de teste em que a execução do AG trouxe um melhor resultado. Observa-se que não se trata apenas do ganho propiciado pelo AG, neste caso de 3,19%, mas também o ganho obtido pela BT que sucede o AG, 11,77%. O segundo ciclo do AG não obteve ganhos, então, conforme definido, terminou o processo. O ganho total foi de 75,13%, sem a execução do AG teria sido de 70,89%. Uma preocupação com o AG seria o aumento no tempo computacional, porém o algoritmo proposto para o AG demonstrou ser bastante rápido.

TABELA 28: Caso de Teste: $LT = 10$.

Etapa	Nro.Cruzamentos/ Melhor Iteração	FO Inicial	FO Obtida	% Melhoria	Tempo
BT	57	836,144	269,8919	67,72	00:21:39
AG	86	269,8919	259,3452	3,91	00:00:01
BT	28	259,3452	213,8326	17,55	00:14:21
AG	118	213,8326	213,8326	0,00	00:00:01

Por sua vez, a Tabela 28 apresenta uma variação do caso de teste. Neste experimento foi aplicado $LT = 10$. Desta vez a primeira execução da BT atingiu um pior resultado em relação ao teste anterior. Apesar que as etapas posteriores obtiveram ganhos superiores ao caso de teste anterior, o percentual de melhoria obtido no final foi um pouco menor: 74,43%. Observa-se que o tempo de execução no primeiro teste foi de 00:59:33 e no segundo 00:36:01.

A Tabela 29 apresenta os percentuais de melhoria obtidos com as variações dos parâmetros do AG, tamanho da população e número de gerações, aplicados em um mesmo caso de teste. Nestes testes, a FO inicial foi de 556,664 e a FO obtida na primeira execução da BT foi de 222,9742, obtendo 59,94453% de melhoria.

TABELA 29: Caso de Teste: 12 técnicos, $BT_{max} = 50$, $LT = 10$, janeiro.

Tamanho da População	Número de gerações	% Melhoria
10	3	70,13
10	5	72,84
10	15	74,98
10	30	74,98
12	8	73,69

Com a variação dos parâmetros do AG em um mesmo caso de teste, é possível verificar que com o aumento do tamanho da população (indivíduos pais) e principalmente do número de gerações (cruzamentos) a população de filhos gerados é bem maior, aumentando a possibilidade de encontrar filhos que substituam os pais com vantagens para a FO. O gráfico da Figura 29 representa estes resultados.

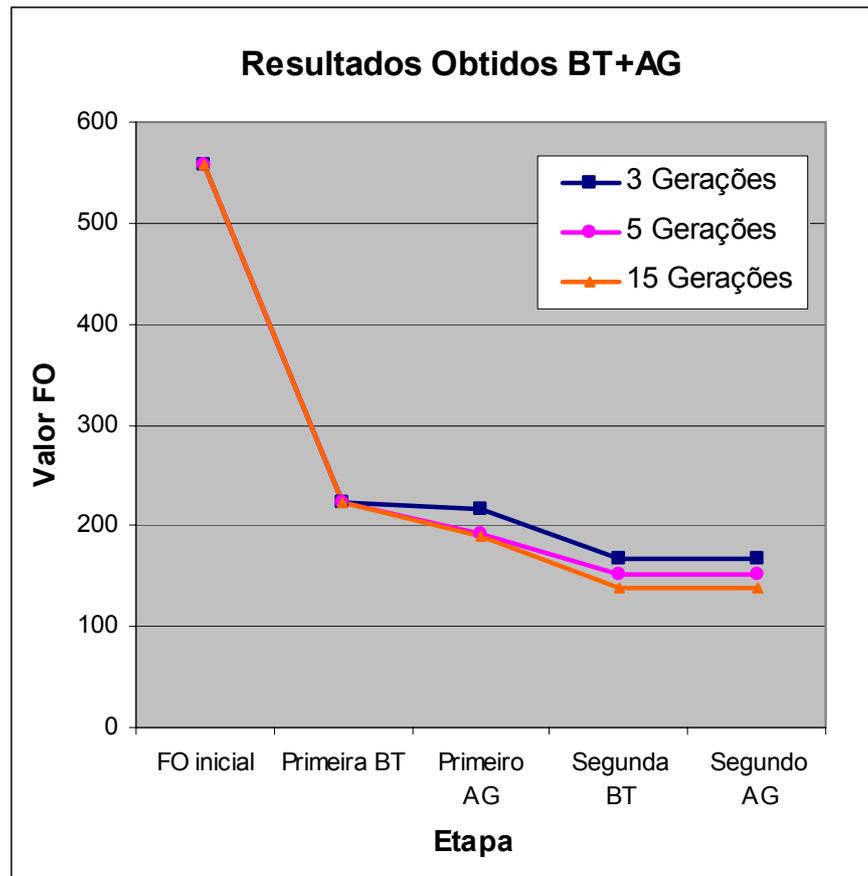


FIGURA 29: Resultados obtidos BT+AG.

A primeira etapa BT obtém os mesmos resultados para os três testes. Após a primeira etapa do AG, que é afetada pelo parâmetro número de gerações, podemos observar os diferentes caminhos percorridos. Neste exemplo, a correlação entre o número de gerações e o percentual de melhoria obtido é de 0,8853.

Em todos os experimentos realizados o processo de execução encerrou ao executar o AG pela segunda vez e não obter melhor FO.

Como apresentado, em alguns casos o AG não introduziu melhores escalas individuais mesmo aumentando o número de gerações (Tabela 26). A Tabela 29 apresenta um caso em que um maior número de gerações (30) não obteve melhor resultado que realizando um número menor de gerações (15). Muitas escalas individuais, geradas pelo Algoritmo Genético inviabilizam a escala geral, outras escalas individuais, por sua vez resultam em FO maior ou igual a que está sendo avaliada. Devido às múltiplas variáveis que compõem a FO e a natureza da escala, diferentes escalas podem resultar na mesma FO. A implementação de *crossover* com dois pontos de corte, realizando um duplo *swap*, poderá render melhores resultados.

8.3.7 Validação do Modelo

Geralmente, os pesquisadores utilizam casos de teste já conhecidos no meio acadêmico para a comparação dos seus modelos e métodos de solução com outros trabalhos. Para o problema de escalas de trabalho de enfermeiros praticamente inexitem casos de teste de uso comum devido à variação das regras das instituições, restrições e objetivos específicos dos casos analisados. Na literatura não foram encontrados casos de teste adequados às regras e legislação brasileiras.

Para os experimentos foram utilizados um caso de teste modelo com até 20 técnicos e outro caso criado pelo gerador de casos de teste, com 40 técnicos, ambos baseados em dados reais. A falta de casos de teste padronizados e de informações mais detalhadas dos casos utilizados (número de enfermeiros, tamanho do período e ganhos obtidos) impossibilita uma comparação, mesmo que aproximada, com resultados já publicados.

O desempenho da arquitetura foi testado com os casos de teste aqui apresentados, com 20 ou 40 técnicos para um mês completo, de 28 a 31 dias. Nos trabalhos de Özcan (ÖZCAN, 2005) e Burke (BURKE et al, 1998, BURKE et al, 2003b) também são utilizados casos de testes com 20 enfermeiros, sendo no primeiro para 14 dias e nos demais para 4 semanas, 28 dias. Os hospitais pesquisados não possuem atualmente equipes maiores que 30 pessoas para um turno de uma enfermaria. A Tabela 4 na seção 6.2 aponta uma equipe de 26 pessoas para uma CTI, que é a unidade hospitalar que mantém a maior relação enfermeiros/pacientes devido ao tipo de assistência prestada, conforme o Artigo 4º da Resolução COFEN 189/1996 encontrada no anexo A.

Quanto ao tempo computacional, para o caso de 20 técnicos se situa na faixa de 10 a 26 minutos, em média é de 18 minutos, e para 40 técnicos, varia de 1 hora a 1:40h. Tais valores dependem do grau de dificuldade do mês e se há outros processos executando simultaneamente. Este resultado é compatível com os tempos encontrados, para o caso de 20 enfermeiros, testados em (BURKE et al, 1998) e (BURKE et al, 2003b). Apesar de uma hora parecer muito tempo para uma resposta, este não é um fator crítico. O computador está trabalhando, enquanto que os técnicos estão prestando assistência.

O modelo foi testado com uma escala real obtida no Hospital 2. Das escalas fornecidas muitas eram inviáveis. Foi criado um caso de teste modelo para representar a situação da escala: 13 técnicos, 2 ausentes o período todo, período de 31 dias, 4 sábados, 4 domingos e

um feriado. Informações como data da última folga e número de folgas adquiridas foram obtidas da escala do período anterior. As condições de execução aplicadas foram as mesmas dos experimentos acima: $BT_{max} = 50$, $LT=10$, pesos SNT, executando apenas a BT. Foi calculada a FO da escala real para comparação com a FO obtida pelo modelo. Os resultados estão resumidos na Tabela 30.

TABELA 30: Avaliação Escala real.

	Escala		
	Inicial	Obtida	Real
Solicitações	49,32967	27,63177	3,98449
Distrib. dos Plantões	56,49535	0,00002	32,76162
Fim-de-semana	173,5098	0	57,8366
Intervalo	42,012	0	147,042
Intervalo +	6	5	28
Folgas Adquiridas	116,8986	55,666	89,0656
Cobertura	0	33,878	59,2865
FO	444,2454	122,1758	417,9768
% Melhoria		72,50	5,91
Melhor iteração		41	

A FO calculada para a escala real é de 417,9768 e a execução do modelo atingiu um resultado de 122,1758. Na comparação com a FO da escala inicial construída para a BT, a escala real apresenta um ganho de 5,91% enquanto que a do modelo obteve 72,50%. O modelo conseguiu reduzir sensivelmente as penalidades, inclusive as solicitações de folga, quesito muito importante para os técnicos. O tempo de execução foi de 7'45''. Os resultados visuais estão no apêndice C.

CAPÍTULO 9

CONCLUSÕES

Foi desenvolvido um modelo para a elaboração de escalas de trabalho mensais para os técnicos de enfermagem, de acordo com as regras operacionais dos hospitais e as restrições da legislação e promovendo maior satisfação dos funcionários com as suas escalas. É uma ferramenta importante para o gerenciamento da parcela mais significativa dos funcionários da área da saúde.

Para realizar este trabalho foi necessário pesquisar sobre a elaboração de escalas de trabalho na literatura sobre administração hospitalar, entrevistar hospitais para conhecer as regras praticadas pelas entidades e conhecer as variáveis envolvidas, além do estudo dos métodos de solução.

O modelo desenvolvido combina Busca Tabu com Algoritmos Genéticos, explorando o refinamento realizado pela BT e a diversificação promovida pelo AG, para obter os melhores resultados possíveis.

Testes realizados mostraram que o modelo é robusto, condizente com a realidade, produz escalas de qualidade muito superior às construídas manualmente e em um tempo computacional razoável.

9.1 RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS

Durante o desenvolvimento da modelagem muitas restrições, que inicialmente eram consideradas obrigatórias, passaram a ser relaxadas e se tornaram variáveis da função-objetivo. Se mantidas todas estas restrições como obrigatórias o espaço de solução seria muito restrito.

O desempenho da Busca Tabu se mostrou muito bom, visto que a cada exploração de vizinhança é realizado um alto número de movimentos, apesar que poucos são viáveis. Inicialmente foi implementado um critério de aspiração, mas concluiu-se que sem a função de aspiração se alcançava resultados um pouco melhores. A implementação do primeiro movimento da BT, de diversificação, se fez necessário para resolver o problema de quantas, para quem e quando, folgas adquiridas conceder. O movimento de troca é o movimento clássico da BT, visto que movimentos de retirada e inserção não se aplicavam a este

problema, onde o número de técnicos e o número de dias do período não podem sofrer alterações.

O Algoritmo Genético, por sua vez, surpreendeu pela rapidez e pela melhoria obtida. Foi importante a decisão de retornar a escala resultante do AG para a BT. Nesta segunda rodada, a BT consegue mais um índice de melhoria, geralmente acima de 10%.

A falta de casos de teste padronizados, devido às variações nos modelos propostos, e de resultados reconhecidos, dificulta a comparação dos resultados desta pesquisa com outras. Para os experimentos foram utilizados um caso de teste modelo e outro caso criado pelo gerador de casos de teste, ambos baseados em dados reais. As análises realizadas consideraram os pesos para uma solução não-tendenciosa e também foi avaliada a influência de uma variável nas demais, quando privilegiada. Com os pesos da solução não-tendenciosa foi possível obter ótimos resultados em relação às escalas reais, ainda mais considerando que na prática, estas escalas não chegam a ser sequer viáveis. O modelo foi validado com uma escala real onde se mostrou muito superior.

Analisando os testes com as variáveis privilegiadas entende-se a dificuldade de elaborar uma escala manualmente: há muitos conflitos. Para conceder folgas adquiridas prejudica-se a cobertura, ao equilibrar os plantões nos finais de semana atrapalha-se as folgas de fim-de-semana previstas por lei, conceder folgas em datas solicitadas também compromete a cobertura. As variáveis que atendem a restrição legal de intervalo entre folgas são afetadas por todas as demais.

Um fator externo que exerce alta influência sobre as escalas de trabalho é o mês para o qual a escala está sendo elaborada. Dado que o número de dias de folga é calculado com base no número de domingos e de feriados que acontecem em cada mês, percebe-se a influência do período de planejamento sobre a escala. Soma-se a isso a diferença do número de dias de cada mês. Em meses mais curtos e com mais domingos e/ou feriados, como exemplo fevereiro e abril, é mais difícil de distribuir as folgas mantendo-se a cobertura mínima.

É um problema combinatório realmente muito complexo, cabe aos administradores definirem quais variáveis privilegiar ou sacrificar. O modelo oferece esta flexibilidade, permitindo a alteração dos pesos, e de parâmetros, que configuram os limites de relaxamento aceitos.

9.2 CONTRIBUIÇÕES

Esta pesquisa propõe uma solução para um problema NP-Difícil da área da saúde. A maior contribuição deste trabalho foi o desenvolvimento da formulação que considera regras e a legislação praticadas em muitos hospitais do país. Ele poderá ser aplicado a todos os hospitais que seguem as seguintes regras:

- As folgas devem ser planejadas de forma a garantir o número necessário de profissionais em assistência, de acordo com a demanda de cada turno/dia. É permitido um relaxamento no número de pessoal alocado;
- Existe um número de folgas obrigatórias a cada período trabalhado;
- Horas adicionais de trabalho podem ser convertidas em folgas;
- Existe um intervalo entre folgas determinado por lei, mas é tolerado um relaxamento;
- Deve ser verificada a disponibilidade de uma pessoa em trabalhar determinado turno/dia. O profissional pode estar em licença, dispensa ou férias no período;
- Uma pessoa deve ser designada a no máximo um turno por dia.

Estas são as características essenciais do modelo, as demais podem ser relaxadas e até ignoradas.

O objetivo inicial de criar uma ferramenta para a elaboração de escalas, liberando o pessoal de enfermagem para o serviço assistencial, foi atingido. Além deste uso operacional, esta aplicação poderá ter uso gerencial, uma vez que permite simular a dinâmica do pessoal antecipando a necessidade de alterações no tamanho da equipe.

Há falta de ferramentas computacionais para a elaboração de escalas de trabalho em geral, não só para pessoal de enfermagem. Esta pesquisa abre a discussão sobre este assunto tão negligenciado no Brasil.

9.3 TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho foca um assunto pouco explorado, são muitas as oportunidades de pesquisa que surgem a partir dele, tais como:

- Desenvolver uma formulação do modelo para as regras dos enfermeiros, visto que são bastante diferenciadas das regras dos técnicos;
- Melhorar a política de diversificação com o Algoritmo Genético;
- Experimentar política de diversificação com o Algoritmo Memético;
- Implementar estratégias de intensificação e diversificação na Busca Tabu;
- Aprofundar a investigação na técnica já experimentada: avaliar se o grau de dificuldade dos meses deve participar dos pesos SNT, experimentar outro tipo de vizinhança como um duplo *swap*;
- Padronizar o conjunto de restrições e variáveis para permitir a criação de soluções portáteis na área da saúde e também em outras áreas que funcionam no regime 24 horas nos 7 dias da semana.

Para este modelo ter aplicação prática dever ser desenvolvido uma interface para manutenção de dados dos técnicos e das escalas geradas em uma base de dados. Outro ponto que dever implementado é o tratamento de períodos do dia 16 de um mês ao dia 15 do mês seguinte como ocorre na prática. Impressão da escala, permitir que um período seja parcialmente refeito, permitir registro de ocorrências de faltas e outros imprevistos também serão necessários.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barboza, A.O., Carnieri, C., Steiner, M.T.A, Siqueira, P.H., Técnicas da Pesquisa Operacional no Problema de Horários de Atendentes em Centrais Telefônicas. *Gestão & Produção* v.10, n.1, p.109-127, 2003.

Barron, F.H., Barrett, B.E., Decision Quality Using Ranked Attribute Weights. *Management Science*, v.42, n.11, p.1515-1523, 1996.

Bellanti, F., Carello, G., Della Croce, F., Tadei, R., A Greedy-based Neighborhood Search Approach to a Nurse Rostering Problem. *European Journal of Operational Research* v.53, p. 28–40, 2004.

Blöchliger, I., Modeling Staff Scheduling Problems. A Tutorial, *European Journal of Operational Research* v.158 p.533-542, 2004.

Blum, C., Roli, A., Metaheuristics in Combinatorial Optimization: Overview and Conceptual Comparison. *ACM Computing Surveys*, v.35 n.3, NY, p.268-308, 2003.

Burke, E.K., Causmaecker, P.D., Berghe, G.V., A Hybrid Tabu Search Algorithm for the Nurse Rostering Problem. B. McKay et al. (eds.), *Simulated Evolution and Learning*, Springer, Lecture Notes in Artificial Intelligence v.1585, p.187–194, 1998.

Burke, E.K., Causmaecker, P.D., Berghe, G.V., A Memetic Approach to the Nurse Rostering Problem. *Applied Intelligence* 15, p.199–214, Kluwer Academic Publishers, 2001a.

Burke, E.K., Causmaecker, P.D., Berghe, G.V., Fitness Evaluation for Nurse Scheduling Problems. *Anais do Congress on Evolutionary Computation - CEC2001*, p.1139–1146, Seoul, IEEE Press, 2001b.

Burke, E.K., Kendall, G., Soubeiga, E., A Tabu-Search Hyperheuristic for Timetabling and Rostering. *Journal of Heuristic*, v.9, p.451-470, 2003a.

Burke, E.K., Causmaecker, P.D., Petrovic, S., Berghe, G.V., Variable Neighbourhood Search for Nurse Rostering Problems, em *Metaheuristics: Computer Decision-Making*, M.G.C. Resende e J. P. de Sousa (ed.), p.153-172 , Kluwer Academic Publishers, 2003b.

Burke, E.K., Soubeiga, E., A Real-world Workforce Scheduling Problem in the Hospitality Industry: Theoretical Models and Algorithmic Methods. *Anais do Third EU/ME Workshop on real world applications of metaheuristics*, 18-19, Antwerp, Belgium, 2003.

Burke, E.K., Causmaecker, P.D., Berghe, G.V., Landeghem, H.V., Novel Metaheuristic Approaches to Nurse Rostering Problems in Belgian Hospitals. J. Leung (ed.), *Handbook of Scheduling: Algorithms, Models and Performance Analysis*, Capítulo 44, p.44.1–44.18, CRC Press, 2004a.

Burke, E.K., Causmaecker, P.D., Berghe, G.V., Landeghem, H.V., The State of the Art of Nurse Rostering. *Journal of Scheduling archive* v.7, n.6, p.441– 499, nov-dez 2004b.

Chun, A.H.W., Chan, S.H.C., Lam, G.P.S., Tsang, F.M.F., Wong, J., Yeung, D.W.M., Nurse Rostering at the Hospital Authority of Hong Kong. *Anais do 17th National Conference on AAAI and 12th Conference on IAAI*, p.951-956, 2000.

Colomi, A., Dorigo, M., Maniezzo, V., *Metaheuristics for High School Timetabling. Computational Optimization and Applications v.9*, p.275–298, Kluwer Academic Publishers, 1998.

Constantino, A. A., *Otimização de Escala de Trabalho para Condutores de Trem: Seqüenciamento de Tarefas e Alocação Baseada em Preferência Declarada. Tese Doutorado em Engenharia de Produção, UFSC*, 1997.

Costa, D., *A Tabu Search Algorithm for Computing an Operational Timetable. European Journal of Operational Research*, v.76 p.98-110, 1994.

Costa, E.S., Morita, I., Martinez, M.A.R., *Percepção dos Efeitos do Trabalho em Turnos Sobre a Vida Social em Funcionários da Enfermagem em um Hospital Universitário do Estado de São Paulo. Caderno de Saúde Pública*, v.16, n.2, p.553-555, Rio de Janeiro, 2000.

Custers, N., Causmaecker, P., Demeester, P. e Vanden Berghe, G. V., *Semantic Components for Timetabling. Anais de 5th International Conference on Practice and Theory of Automated Timetabling*, Springer, p.17-33, 2005 .

Dowling, D., Krishnamoorthy, M., Mackenzie, H., Sier, D., *Staff Rostering at a Large International Airport. Anais de Operations Research v.72*, p.125 – 147, 1997.

Dowland, K. A., *Nurse Scheduling with Tabu Search and Strategic Oscillation. European Journal of Operational Research v.106* p.393-407, 1998.

Ernst, A., Jiang, H., Krishnamoorthy, M. e Sier, D., *Staffing Scheduling and Rostering: A Review of Applications, Methods and Models. European Journal of Operations Research v.153*, p.3–27, 2004a.

Ernst, A., Jiang, H., Krishnamoorthy, M., Owens, B. e Sier, D., *An Annotated Bibliography of Personnel Scheduling and Rostering. Anais de Operations Research v.127*, Kluwer Academic Publishers, 2004b.

Gaidzinski, R.R., *Dimensionamento de Pessoal de Enfermagem. Administração em Enfermagem/ Coord. Paulina Kurcgant, São Paulo, EPU*, 1991.

Gascon, V., Villeneuve, S., Michelon, P. Ferland, J.A., *Scheduling the Flying Squad Nurses of a Hospital Using a Multi-Objective Programming Model. Anais do Operations Research v.96*, p.149–166, 2000.

Gavião, F., Lorena, L. A. N., Senne, E. L. F., *Um Novo Enfoque para Atribuição de Escalas de Serviço de Longa Duração em Empresas de Transporte. Anais do V WORCAP, INPE, São José dos Campos*, 2005.

Glover, F., *Tabu Search – parte 1. ORSA Journal on Computing v.1, n.3*, 1989.

- Glover, F., Laguna, M., Tabu Search. Kluwer Academic Publishers, Boston. 1998.
- Gomes, H.A.S., Neto, J.F.B., Utilização de Metaheurística na Programação de Escala de Pessoal em Empresas de Transporte Coletivo por Ônibus, XXXV SBPO, Natal 2003.
- Hillier, F. S. e Lieberman, G. J., Introduction to Operations Research. McGraw-Hill : Boston MA. 7ª edição 2001.
- Jaumard, B., Semet, F., Vovor, T., A Generalized Linear Programming Model for Nurse Scheduling, European Journal of Operational Research v. 107, p. 1-18, 1998.
- Kotsko, E. G. da S., Steiner, M.T.A, Machado, A.L. da F., Otimização na Construção da Grade Horária Escolar - Uma Aplicação, Anais do XXXV SBPO, Natal, 2003.
- Larson, R., Farber, B., Estatística Aplicada. Tradução e revisão técnica Cyro de Carvalho Patarra, Prentice Hall , São Paulo, 2ª ed., 2004.
- Lewis, H., Papadimitriou, C., Elementos de Teoria da Computação. Bookman, Porto Alegre, 2ª ed., 2000.
- Litchfield, J.A., Ingolfsson, A., Cheng, K.J., Rostering for a Restaurant. INFOR Ottawa v. 41, n.3, ago 2003.
- Lorena, L. A. N., Pereira, M. A., Salomão, S. N. A., A Relaxação Lagrangeana/Surrogate e o Método de Geração de Colunas: Novos Limitantes e Novas Colunas. Pesquisa Operacional, vol.23, no.1, p.29-47, Jan-Abr 2003.
- Marinho, E.H., Ochi, L.S., Drummond, L.M.A., Souza, M.J.F., Silva, G.P., Busca Tabu Aplicada ao Problema de Programação de Tripulações de Ônibus Urbano. XXVI Simpósio Brasileiro De Pesquisa Operacional, São João del Rey, 2004.
- Marquis, B.L. e Huston, C.J., Administração e Liderança em Enfermagem: Teoria e Prática. Porto Alegre, Artmed, 2005.
- Massarollo, M.C.K., Escalas de Distribuição de Pessoal de Enfermagem, em Kurcgant, P. Administração em Enfermagem, São Paulo, EPU, p.107-115, 1991.
- Mauri, G. R., Novas Heurísticas para o Problema de Escalonamento de Tripulações. Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-graduação em Computação Aplicada, INPE, São José dos Campos, 2005.
- Meisels, A., Schaerf, A., Modelling and Solving Employee Timetabling Problems, Anais Mathematics and Artificial Intelligence, Kluwer Academic Publishers, p.41-59, 2003.
- Özcan, E., Memetic Algorithms for Nurse Rostering. Anais do 20th International Symposium on Computer and Information Sciences, Istanbul, 2005.
- Reeves, C.R., Modern Heuristic Techniques. In:Rayward-Smith, V. J.; Osman, I. H; Reeves, C. R; Smith, G. D. Modern Heuristic Search Methods, Wiley, 1996.

Sarin, S. C., Aggarwal, S., Modeling and Algorithmic Development of a Staff Scheduling Problem. *European Journal of Operational Research*, v.128, p.558-569, 2001.

Schaerf, A., A Survey of Automated Timetabling, *Artificial Intelligence Review*, 13:87-127 1999.

Silva, S.F., Modelo Multicritério para a Ordenação dos Pontos Monitorados do Sistema Elétrico com Base nos Métodos SMART/SMARTERS , Dissertação (Mestrado) UFPE Engenharia da Produção 2006.

Silva, T.C.L., Steiner, M.T.A, Carnieri, C. e Silva, A.C.L., Determinação de Escalas de Plantão para Militares Considerando Preferências e Hierarquia, *Pesquisa Operacional* v.24, n.3, p.373-391, set-dez 2004.

Siqueira, P.H., Carnieri, C. Steiner, M.T.A e Barboza, A.O., Uma Proposta para o Problema da Construção de Escalas de Motoristas e Cobradores de Ônibus por Meio do Algoritmo do Matching de Peso Máximo, *Gestão & Produção* v.11 mai-ago 2004.

Soubeiga , E., Development And Application Of Hyperheuristics To Personnel Scheduling, Tese de PhD, School of Computer Science and Information Technology, University of Nottingham, 2003.

Souza, M.J.F., Martins, A.X., Araújo,C.R., Experiências com SA e BT na Resolução do Problema de Alocação de Salas, XXXIV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Rio de Janeiro, 2002.

Souza, M.J.F., Cardoso, L.X.T., Silva, G.P., Rodrigues,M.M.S., Mapa, S.M.S., Metaheurísticas aplicadas ao Problema de Programação de Tripulações no Sistema de Transporte Público. *Anais do XXVI Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional*. São José do Rio Preto, setembro/2003.

Webster's Encyclopedic Unabridged Dictionary of the English Language, 1989.

Wren, A., Scheduling, Timetabling and Rostering - A special relationship?, *Lecture Notes in Computer Science*, v.1153 p.46-75, 1996.

APÊNDICES

APÊNDICE A - ROC – Ordem de Classificação de Centróides

ROC – Ordem de Classificação de Centróides

Conceito introduzido por Barron e Barrett em seu trabalho “*Decision Quality Using Ranked Attribute Weights*” (1996). A idéia é converter ordenações (primeiro, segundo, terceiro, etc) em valores normalizados no intervalo de 0,0 a 1,0 que significam pesos. Observe o exemplo abaixo para quatro itens:

$$P1 = (1 + 1/2 + 1/3 + 1/4) / 4 = 0,5208$$

$$P2 = (0 + 1/2 + 1/3 + 1/4) / 4 = 0,2708$$

$$P3 = (0 + 0 + 1/3 + 1/4) / 4 = 0,1458$$

$$P4 = (0 + 0 + 0 + 1/4) / 4 = 0,0625$$

Os valores dos pesos ROC P1, P2, P3 e P4, quando somados se aproximam a 1, podendo haver alguma diferença de arredondamento.

Na notação sigma, sendo N o número de itens, o peso ROC do item k é

$$P_k = \frac{\sum_{i=k}^N (1/i)}{N}.$$

É um cálculo bastante simples e computacionalmente conveniente (Silva, 2006).

APÊNDICE B – Cálculo da Correlação

Cálculo da Correlação

Conforme LARSON e FARBER (2004), o coeficiente de correlação é uma medida do grau e da direção de uma relação linear entre duas variáveis. O símbolo r representa o coeficiente de correlação amostral cuja fórmula é a seguinte:

$$r = \frac{n\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{n\sum x^2 - (\sum x)^2} \sqrt{n\sum y^2 - (\sum y)^2}}$$

onde n é o número de pares de dados.

O intervalo de variação deste coeficiente vai de -1 a 1. Quanto mais próximo de 1 está o valor de $|r|$, mais forte a correlação linear. Se $r > 0$ a correlação é diretamente proporcional, se $r < 0$, a correlação é inversamente proporcional. A inexistência de correlação entre x e y é indicada por $r = 0$.

As correlações apresentadas neste trabalho foram calculadas com a ferramenta Excel 2002 do pacote Microsoft Office XP.

APÊNDICE C – Resultados Visuais da Validação do Modelo

Resultados Visuais da Validação do Modelo

O programa apresenta duas telas principais: uma para a entrada dos parâmetros e apresentação do resultado final e outra onde é exibida a escala inicial construída. Uma pequena tela auxiliar é a Legenda das cores utilizadas na visualização da escala (Figura 30).



Cor	Significado
Verde	Sábados
Azul	Domingos
Verde-claro	Feriados
Laranja	Indisponibilidades Fé, L, D
Vermelho	Indisp. não prevista
Rosa	Folga 1x
Púrpura	Folga 2x
Rosa-escuro	Folga 3x
Púrpura-escuro	Folga 4x
Amarelo	Avaliação
Amarelo-claro	Inf. Cadastrais

FIGURA 30: Legenda de cores do programa Escala.

A próxima imagem, Figura 31, mostra o resultado da avaliação da escala real. Na parte superior da tela estão os parâmetros de definição do caso de teste, critérios para o cálculo da FO: cobertura, relaxamento, intervalos máximo e mínimo. Parâmetros gerais, BT e AG não se aplicam a este caso de avaliação de escala. Os dados que caracterizam o período, como feriados, sábados e domingos, as indisponibilidades dos enfermeiros foram carregados do caso de teste. As data das folgas foram assinaladas manualmente de acordo com a escala fornecida pelo hospital.

As imagens a seguir são montadas a partir de duas visões capturadas da tela, visto que é necessário rolar horizontalmente o componente que exibe a escala.

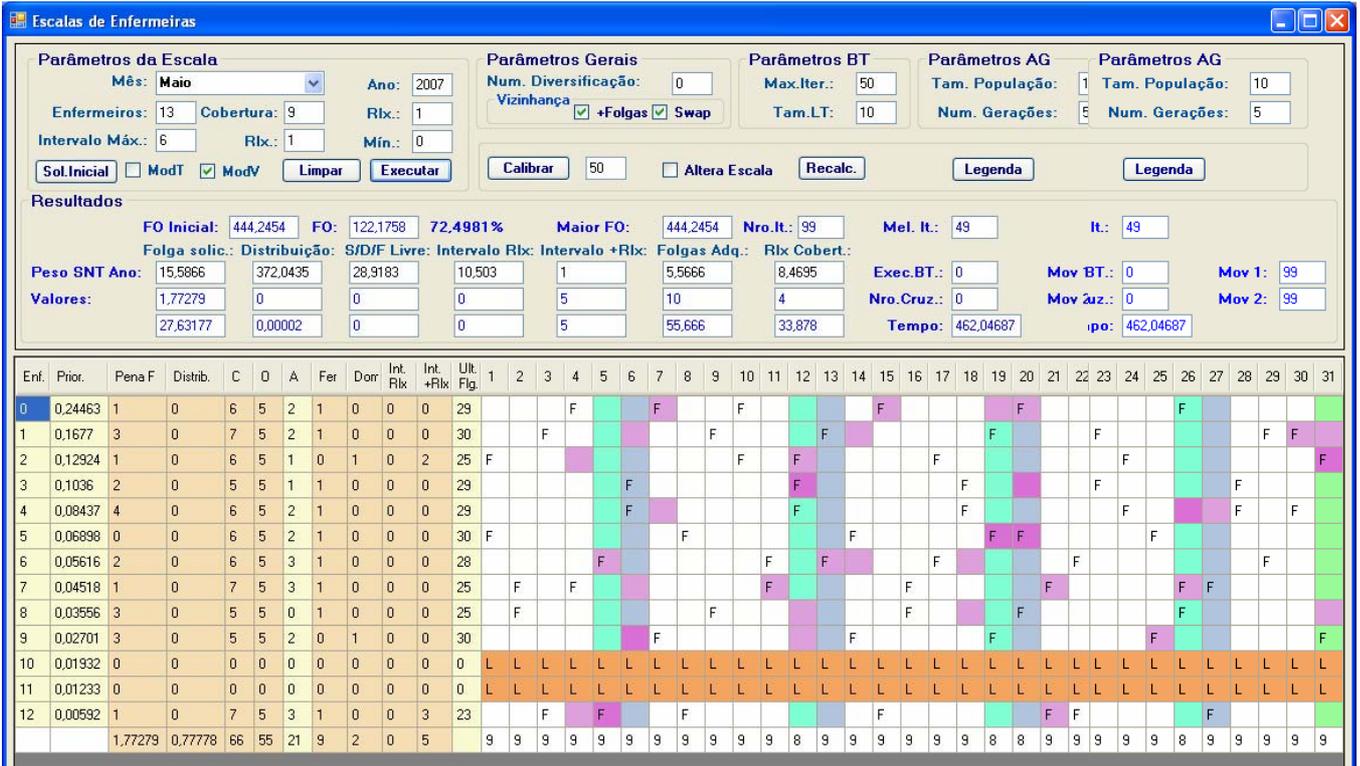


FIGURA 33: Escala obtida pelo modelo.

ANEXOS

ANEXO A - Resolução COFEN-189/1996

Resolução COFEN-189/1996

Esta resolução do Conselho Federal de Enfermagem estabelece parâmetros para Dimensionamento do Quadro de Profissionais de Enfermagem nas instituições de saúde.

O Conselho Federal de Enfermagem, no uso da competência que lhe confere o Art. 8º, inciso IV e XIII, da Lei nº 5.905, de 12 de julho de 1973, tendo em vista o disposto no Art. 16, incisos XI e XIII e Art. 28, inciso II de seu Regimento, e cumprindo deliberação do Plenário em sua 241ª Reunião Ordinária, bem como o que mais consta do PAD-COFEN-51/94;

Considerando inexistir matéria regulamentando a relação profissionais/leitos;

Considerando haver vacância na lei sobre a matéria;

Considerando os Seminários Nacionais e Oficinas de Trabalhos coordenados e organizados pelo Sistema COFEN/CORENs, contando com segmentos representativos da Enfermagem;

Considerando que o caráter disciplinador e fiscalizador dos Conselhos de Enfermagem sobre o exercício das atividades nos Serviços de Enfermagem do país, aplica-se também, aos quantitativos de profissionais de Enfermagem, por leito, nas instituições de saúde;

Considerando que, para garantir a segurança e a qualidade da assistência ao cliente, o quadro de profissionais de Enfermagem, pela continuidade ininterrupta, e a diversidade de atuação depende, para seu dimensionamento, de parâmetros específicos;

Considerando os avanços tecnológicos e a complexidade dos cuidados ao cliente, quanto às necessidades físicas, psicossomáticas, terapêuticas, ambientais e de reabilitação;

Considerando que compete ao Enfermeiro estabelecer o quadro quanti/qualitativo de profissionais, necessário para a prestação da Assistência de Enfermagem,

Resolve:

Art. 1º - As instituições de saúde do país deverão levar em conta, para o quantitativo mínimo dos diferentes níveis de formação dos profissionais de Enfermagem, o estabelecido na presente Resolução.

Art. 2º - O dimensionamento do quadro de profissionais de Enfermagem deverá basear-se em características relativas

I - à instituição/empresa:

- Missão;
- Porte;
- Estrutura organizacional e física;
- Tipos de serviços e/ou programas;
- Tecnologia e complexidade dos serviços e/ou programas;
- Política de pessoal, de recursos materiais e financeiros;
- Atribuições e competências dos integrantes dos diferentes serviços e/ou programas;
- Indicadores hospitalares do Ministério da Saúde.

II - ao serviço de Enfermagem:

- Fundamentação legal do exercício profissional, (Lei nº 7.498/86; Decreto nº 94.406/87);
- Código de Ética dos Profissionais de Enfermagem e as Resoluções COFEN e Decisões dos CORENS.
- Técnico- Administrativa:
 - Dinâmica das Unidades nos diferentes turnos.
 - Modelo Gerencial.
 - Modelo Assistencial.
 - Métodos de Trabalho.
 - Jornada de Trabalho.
 - Carga Horária Semanal.
 - Níveis de Formação dos Profissionais.
 - Padrões de Desempenho dos Profissionais.
- Índice de Segurança Técnica (IST) não inferior a 30%.
- Índice da proporção de profissionais de Enfermagem de nível superior e de nível médio.
- Indicadores de avaliação da qualidade da assistência, com vista à adequação quanti/qualitativa do quadro de profissionais de Enfermagem.

III - A clientela:

- Sistema de Classificação de Pacientes (SCP);
- Realidade sócio-cultural e econômica.

Art. 3º - O referencial mínimo para o quadro de profissionais de Enfermagem, incluindo todos os elementos que compõem a equipe, referido no Art. 2º da Lei nº 7.498/86, para as 24 horas de cada Unidade de Serviço, considerou o sistema de classificação de pacientes (SCP), as horas de assistência de Enfermagem, os turnos e a proporção funcionário/leito.

Art. 4º - Para efeito de cálculo, devem ser consideradas como horas de Enfermagem, por leito, nas 24 horas:

- 3,0 horas de Enfermagem, por cliente, na assistência mínima ou auto-cuidado;
- 4,9 horas de Enfermagem, por cliente, na assistência intermediária;
- 8,5 horas de Enfermagem, por cliente, na assistência semi-intensiva;
- 15,4 horas de Enfermagem, por cliente na assistência intensiva.

§ 1º - Tais quantitativos devem adequar-se aos elementos contidos no Art. 2º desta Resolução.

§ 2º - O quantitativo de profissionais estabelecido deverá ser acrescido do Índice de Segurança Técnica (IST) não inferior a 30% do total.

§ 3º - Para áreas, como Centro Cirúrgico ou outras, onde as horas de assistência de Enfermagem não são calculadas por leito, o dimensionamento será objeto de Resolução complementar.

§ 4º - O quantitativo de Enfermeiros para o exercício de atividades gerenciais, educação continuada e missões permanentes, deverá ser dimensionado de acordo com a estrutura da organização/empresa.

§ 5º - Para efeito de cálculo deverá ser observada a cláusula contratual quanto à carga horária.

Art. 5º - A distribuição percentual, do total de profissionais de Enfermagem, deverá observar as seguintes proporções, observando o Sistema de Classificação de Pacientes (SCP):

1 - Para assistência mínima e intermediária, 27% de Enfermeiros (mínimo de seis) e 73% de Técnicos e Auxiliares de Enfermagem.

2 - Para assistência semi-intensiva, 40% de Enfermeiros e 60% de Técnicos e Auxiliares de Enfermagem.

3 - Para assistência intensiva, 55,6% de Enfermeiros e 44,4% de Técnicos de Enfermagem.

Art. 6º - Cabe aos Enfermeiros, classificar os clientes para fins de assistência de Enfermagem, segundo o SCP (Sistema de Classificação de Pacientes): mínima ou auto-cuidado, intermediária, semi-intensiva e intensiva.

Art. 7º - O Atendente de Enfermagem não foi incluído na presente Resolução, por executar atividades elementares de Enfermagem não ligadas à assistência direta ao paciente, conforme disposto da Resolução COFEN nº 186/95.

Art. 8º - O disposto nesta Resolução aplica-se a todas as instituições de saúde.

Art. 9º - Estes parâmetros aplicam-se no que couber a outras instituições.

Art. 10 - As expressões e cálculos estão explicitados nos anexos que acompanham a presente Resolução.

Art. 11 - A presente Resolução entrará em vigor na data de sua publicação.

Art. 12 - Ficam revogadas as disposições em contrário.

Rio de Janeiro, 25 de março de 1996.

Gilberto Linhares Teixeira - COREN-RJ nº 2.380 Presidente

Ruth Miranda de C. Leifert - COREN-SP nº 1.104 Primeira-secretária

Anexo I - Notas explicativas:

A - Os cálculos para sete dias da semana devem ser realizados para os turnos da manhã (M), tarde (T) e noite (N), sendo seis horas para os períodos da manhã e tarde e doze horas para o noturno.

B - O número previsto para o serviço noturno deve ser duplicado para escala de 12/36h.

C - para efeito de cálculo, classificar o pessoal de nível superior e médio, devendo o de nível médio ser dividido em Técnico e Auxiliar de Enfermagem, a critério da instituição, pela demanda e oferta de mão-de-obra existente, obedecendo ao percentual estabelecido. Na assistência intensiva utilizar o Técnico de Enfermagem.

D - Ao total, apresentado no modelo acima, deverá ser acrescido 30% como Índice de Segurança Técnica (IST).

E - Está previsto 01 (um) Enfermeiro para atividades administrativas, com 08 (oito) horas de trabalho.

F - A carga horária para efeito deste cálculo será de 36 horas semanais, para atividade assistencial e 40 horas semanais para atividades administrativas, e adaptada à carga horária estabelecida nos respectivos contratos de trabalho dos profissionais de Enfermagem.

Anexo II - Terminologia

Complexidade: o que abrange ou encerra elementos ou partes, segundo Mário Chaves, os Hospitais, pela sua complexidade, caracterizam-se como secundários, terciários e quaternários, de acordo com a assistência prestada, tecnologia utilizada e serviços desenvolvidos.

Grau de dependência: nível de atenção quanti/qualitativa requerida pela situação de saúde em que o cliente se encontra.

Indicadores: instrumentos que permitem quanti/qualificar os resultados das ações. São indicadores que devem nortear o dimensionamento de pessoal do Hospital, quanto a: número de leitos, número de atendimentos, taxa de ocupação, média de permanência, paciente/dia, relação empregado/leito, dentre outros.

Indicadores de qualidade: instrumentos que permitem a avaliação da assistência de Enfermagem, tais como: sistematização da assistência de Enfermagem; taxa de ocorrência de incidentes (iatrogenias); anotações de Enfermagem quanto à frequência e qualidade; taxa de absenteísmo; existência de normas e padrões da assistência de Enfermagem, entre outros.

Índice de Segurança Técnica: destina-se à cobertura das ausências do trabalho, previstas ou não, estabelecidas em Lei.

Métodos de Trabalho: relacionam-se à maneira de organização das atividades de Enfermagem, podendo ser através do cuidado integral ou outras formas.

Missão: a razão de ser da instituição/empresa incorporada por todos os seus integrantes.

Modelo Assistencial: metodologia estabelecida na sistematização da assistência de Enfermagem (Art. 4º da Lei nº 7.498/86 e Art. 3º do Dec. nº 94.406/87).

Modelo Gerencial: compreende as atividades administrativas desenvolvidas pelos Enfermeiros nas unidades de serviço (Art. 3º da Lei nº 7.498/86 e Art. 2º do Dec. nº 94.406/87).

Política de pessoal: diretrizes que determinam as necessidades de pessoal, sua disponibilidade e utilização através do processo de recrutamento, seleção, contratação, desenvolvimento e avaliação, incluindo benefícios previstos na legislação e as especializações existentes.

Programas: conjunto de atividades ordenadas para atingir objetivos específicos que signifiquem a utilização dos recursos combinados. Exemplo: Programa Integral de Saúde da Mulher, Programa de Transplante etc..

Porte: determinado pela capacidade instalada de leitos, segundo definição do Ministério da Saúde.

Serviços: conjunto de especialidades médicas oferecidas à clientela, cujas características podem sofrer influência da entidade mantenedora, tempo de permanência, entre outras.

Sistema de classificação de pacientes:(por complexidade assistencial) é um método para determinar, validar e monitorar o cuidado individualizado do paciente, objetivando o alcance dos padrões de qualidade assistencial. (De Groot, H.A-J. Nurs. Adm. v.19, n.7, p.24-30, 1989).

Categorias de pacientes por complexidade assistencial
(adaptado de Fugulin, F.M. et. al).

- Assistência mínima/auto-cuidado: pacientes estáveis sob o ponto de vista clínico e de Enfermagem, mas fisicamente auto-suficientes quanto ao atendimento das necessidades humanas básicas.
- Assistência intermediária: pacientes estáveis sob o ponto de vista clínico e de Enfermagem, requerendo avaliações médicas e de Enfermagem com parcial dependência dos profissionais de Enfermagem para o atendimento das necessidades humanas básicas.
- Assistência semi-intensiva: pacientes recuperáveis, sem risco iminente de vida, sujeitos à instabilidade de funções vitais, requerendo assistência de Enfermagem e médica permanente e especializada.
- Assistência intensiva: pacientes graves e recuperáveis, com risco iminente de vida, sujeitos à instabilidade de funções vitais, requerendo assistência de Enfermagem e médica permanente e especializada.

ANEXO B –Escala Mensal Real

