

Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP
Instituto de Ciências Exatas e Biológicas - ICEB
Departamento de Computação - DECOM

MSGVNS: UM ALGORITMO HEURÍSTICO PARA O
PROBLEMA DE GERENCIAMENTO DE ESCALA
OPERACIONAL DE CONTROLADORES DE TRÁFEGO
AÉREO

Aluno: Bruno Mota Avelar Almeida
Matrícula: 03.1.4175

Orientador: Marcone Jamilson Freitas Souza

Ouro Preto
16 de setembro de 2011

Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP
Instituto de Ciências Exatas e Biológicas - ICEB
Departamento de Computação - DECOM

MSGVNS: UM ALGORITMO HEURÍSTICO PARA O
PROBLEMA DE GERENCIAMENTO DE ESCALA
OPERACIONAL DE CONTROLADORES DE TRÁFEGO
AÉREO

Proposta de monografia apresentada ao curso de Bacharelado em Ciência da Computação, Universidade Federal de Ouro Preto, como requisito parcial para a conclusão da disciplina Monografia II (BCC391).

Aluno: Bruno Mota Avelar Almeida
Matrícula: 03.1.4175

Orientador: Marcone Jamilson Freitas Souza

Ouro Preto
16 de setembro de 2011

Resumo

Apresenta-se a proposta de implementação de um algoritmo heurístico para resolução de um problema de *timetabling*, o Problema de Gerenciamento de Escalas Operacionais de Controladores de Tráfego Aéreo (PGECTA). O algoritmo proposto combina as meta-heurísticas *Multi-Start* e *General Variable Neighborhood Search* (GVNS). Pretende-se utilizar do procedimento *Multi-Start* a fase de construção para produzir soluções viáveis e de boa qualidade rapidamente. Já o GVNS foi escolhido devido a sua simplicidade, eficiência e capacidade natural de sua busca local, feita pelo método *Variable Neighborhood Descent*, para lidar com diferentes vizinhanças.

Palavras-chave: *Timetabling*, Escalonamento dos Controladores de Tráfego Aéreo, Metaheurísticas.

Sumário

1	Introdução	1
1.1	O Controlador de Tráfego Aéreo	1
1.2	O Problema de Gerenciamento de Escala Operacional de Controladores de Tráfego Aéreo	2
2	Justificativa	3
3	Objetivos	4
3.1	Objetivo geral	4
3.2	Objetivos específicos	4
4	Metodologia	5
4.1	Representação de uma solução	5
4.2	Estruturas de Vizinhança	6
5	Cronograma de atividades	7

Lista de Figuras

1	Exemplo de Solução para o PGECTA	5
2	Exemplo aplicação do movimento $N^{AR}(s)$	6
3	Exemplo aplicação do movimento $N^T(s)$	6

Lista de Tabelas

1	Cronograma de Atividades.	7
---	-----------------------------------	---

1 Introdução

1.1 O Controlador de Tráfego Aéreo

O presente trabalho trata do Problema de Gerenciamento de Escalas Operacionais de Controladores de Tráfego Aéreo (PGECTA). Neste problema, deve-se determinar uma escala operacional válida para os Controladores de Tráfego Aéreo, *Air Traffic Controller*, atendendo as restrições trabalhistas e operacionais e, se possível, as restrições pessoais.

A maioria dos usuários de transporte aéreo no território brasileiro desconhece a existência de uma grande infraestrutura de segurança envolvendo aeronaves em decolagem, aterrissagem, manobras nos pátios ou estacionadas. O controlador de tráfego aéreo (CTA) é a chave deste grande sistema de gerenciamento e controle do espaço aéreo. O CTA é responsável pela aeronave desde seu acionamento do motor até sua total parada no aeroporto de destino. Embora de grande importância, a profissão de controlador de tráfego aéreo não é regulamentada no país e é desconhecida do grande público.

O tráfego aéreo brasileiro, bem como o de outros países, tem aumentado consideravelmente nos últimos anos. O CTA deve se adaptar ao volume de tráfego sem perder em qualidade de serviço. Não há espaço para erros humanos, uma vez que um pequeno erro do CTA pode provocar um acidente, como aquele acontecido em 29 de setembro de 2006, http://pt.wikipedia.org/wiki/Voo_Gol_1907, quando duas aeronaves se colidiram no ar, ocasionando a morte de 154 pessoas. Assim, a profissão exige agilidade intelectual, velocidade de raciocínio, capacidade de adaptação e principalmente resistência ao estresse.

O CTA supervisiona uma zona do espaço aéreo, de tamanho variável, denominada setor. O espaço aéreo é cortado por diferentes aerovias, que representam corredores pelos quais as aeronaves se deslocam de um aeroporto a outro. Para todas estas rotas existem regras específicas de navegação, e o CTA deve garantir a separação mínima entre as aeronaves.

Para uma boa execução de suas atividades, é importante que os CTAs tenham uma escala de trabalho equilibrada ao longo do mês, que respeite todas as normas trabalhistas e que, se possível, atendam às requisições pessoais. Como o PGECTA é uma variante de um problema de *timetabling*, é um problema da classe NP-difícil [1]. Como tal, ainda não existem algoritmos que o resolvam em tempo polinomial; sendo indicados para sua resolução procedimentos heurísticos.

A presente proposta apresenta um algoritmo heurístico para resolução do PGECTA. O algoritmo proposto, denominado *MSGVNS*, combina o poderio do procedimento *Multi-Start* – MS [8] com o procedimento GVNS [6, 5, 4, 9]. Do procedimento *Multi-Start* utilizou-se a fase de construção para produzir soluções viáveis e de boa qualidade rapidamente. O GVNS foi escolhido devido a sua simplicidade, eficiência e capacidade natural de sua busca local, feita pelo método *Variable Neighborhood Descent* – VND, para lidar com diferentes vizinhanças, como relatado em [12]. Além disso, este algoritmo foi implementado com base na última versão do *framework* OptFrame, <http://sourceforge.net/projects/optframe/>, estando, assim, em um patamar eficiente de otimização.

1.2 O Problema de Gerenciamento de Escala Operacional de Controladores de Tráfego Aéreo

É comum encontrarmos na literatura trabalhos da área de Pesquisa Operacional relacionados à resolução de problemas como: escalonamento de horários [7, 3], escalonamento de salas de aulas [11], escalonamento de motoristas [10], escalonamento de enfermeiros [2], entre outros.

De modo geral, cada um desses trabalhos propõe uma solução boa, quando não ótima, para o problema abordado. Essa solução visa ao atendimento de todas as restrições, maximizando o aproveitamento de recursos envolvidos no problema, além de tentar atender ao máximo as preferências das pessoas envolvidas. A diferença entre esses problemas reside, sobretudo, nas regras trabalhistas existentes e em algumas restrições operacionais.

O Problema de Gerenciamento de Escala Operacional de Controladores de Tráfego Aéreo (PGECTA) tem algumas características desses problemas apontados, mas difere em algumas, como as descritas a seguir.

Cada CTA deve contabilizar ao máximo 20 turnos ao final de cada mês, sendo que as restrições operacionais não devem ser infringidas. As restrições operacionais são:

- Mínimo de 12 CTAs no turno da manhã, 13 no da tarde e 9 no pernoite;
- Máximo de 10 manhãs por mês por CTA;
- Máximo de 10 tardes por mês por CTA;
- Máximo de 10 pernoites por mês por CTA;
- Máximo de 3 pernoites consecutivos por CTA;
- Máximo de 6 serviços consecutivos sem um dia inteiro de folga por CTA;
- Máximo de 6 dias consecutivos de folga por CTA;
- Período mínimo de descanso entre serviços de 1 turno por CTA.

Além disso, a complexidade do problema se assenta no fato de o mesmo ter que atender, além das restrições operacionais, restrições como preferências de horários por parte dos controladores.

Por exemplo, um CTA não pode ou não deseja trabalhar entre os dias 20 e 25 e não poderá trabalhar no turno da manhã entre os dias 5 e 11 do próximo mês. Para este CTA, além das restrições descritas anteriormente, teremos um conjunto de objetivos individuais que poderão ser ou não atendidos.

2 Justificativa

Esta monografia se justifica pela importância que tem o controlador de tráfego aéreo no desempenho de sua função, sendo que o Problema de Gerenciamento de Escala dos Controladores de Tráfego Aéreo pode ser reduzido ao problema de escalonamento de enfermeiros e vários outros problemas de *timetabling*, logo, este é um problema da classe NP-difícil e, como tal, métodos exatos de solução têm aplicabilidade restrita. A abordagem mais comum é por meio de procedimento heurísticos.

3 Objetivos

3.1 Objetivo geral

- Desenvolver um algoritmo heurístico para gerar soluções viáveis e de boa qualidade para o Problema de Gerenciamento de Escala dos Controladores de Tráfego Aéreo (PGECTA)

3.2 Objetivos específicos

- Revisar a literatura sobre técnicas mais utilizadas para busca de soluções de problemas de escalonamento pessoal;
- Estudar a linguagem de programação C++;
- Gerar um algoritmo que permita a geração automática da escala operacional, vistas as restrições operacionais e individuais dos controladores de tráfego aéreo;
- Reduzir, quando possível, o número de dias de trabalho do controlador de tráfego aéreo.
- Utilizar, no mínimo dois algoritmos de otimização e comparar os resultados.
- Contribuir com a formação de recursos humanos especializados nessa área do conhecimento.
- Contribuir para a consolidação das linhas de pesquisa “Otimização e simulação de operações de lavra em minas a céu aberto e subterrâneas” e “Otimização Combinatória” do grupo de Logística e Pesquisa Operacional da UFOP.
- Se possível, produzir um artigo a ser submetido a um periódico nacional.

4 Metodologia

De forma a desenvolver um algoritmo heurístico para o PGECTA, adotou-se a seguinte metodologia:

- Desenvolver uma representação eficiente para problema;
- Concessão de estruturas de vizinhança;
- Implementação da heurística GRASP;
- Implementação da heurística GVNS;
- Testes e validação dos resultados;

4.1 Representação de uma solução

Uma solução é representada por uma matriz $E_{|T| \times |D|}$, em que:

- $|T| = 3$, são os três turnos possíveis: manhã, tarde, pernoite.
- $|D|$, são o número de dias do mês em que o escalonamento está sendo executado.

A Figura 1 exemplifica uma possível solução para o PGECTA em um mês hipotético de 4 dias.

$$s = \left[\begin{array}{c|cccc} & \text{Dia1} & \text{Dia2} & \text{Dia3} & \text{Dia4} \\ \hline \text{Manha} & e_{0,1} & e_{0,2} & e_{0,3} & e_{0,4} \\ \text{Tarde} & e_{1,1} & e_{1,2} & e_{1,3} & e_{1,4} \\ \text{Pernoite} & e_{2,1} & e_{2,2} & e_{2,3} & e_{2,4} \end{array} \right]$$

Figura 1: Exemplo de Solução para o PGECTA

Cada célula $e_{i,j}$ na matriz da Figura 1 é um vetor *booleano* de tamanho igual ao número de controladores $nCTA$. Ou seja:

$$e_{i,j} = [cta_0, cta_1, cta_2, \dots, cta_{nCTA}]$$

. Cada índice deste vetor pode ter o valor 0 ou 1, sendo que, o valor 1 indica que o controlador está trabalhando no turno i do dia j , já o valor 0 indica que o CTA não está trabalhando no turno i do dia j .

Desconsiderando-se as restrições operacionais, podemos exemplificar uma possível escala dos controladores para três turnos do mês hipotético exposto na solução da Figura 1:

$$e_{0,1} = [0, 1, 1, 0, 1]$$

$$e_{1,3} = [1, 1, 1, 1, 1]$$

$$e_{2,4} = [1, 0, 0, 0, 1]$$

Percebe-se que, no primeiro vetor do exemplo os CTAs 2, 3 e 5 estão trabalhando no turno da manhã do dia 1. Para o segundo vetor, notamos que todos os CTAs estão trabalhando no turno da tarde do dia 3. Por último, os CTAs 1 e 5 estão trabalhando no turno da noite do dia 4.

4.2 Estruturas de Vizinhança

Para explorar o espaço de soluções do problema foram propostas duas estruturas de vizinhança:

Movimento Adiciona e Remove CTA - $N^{AR}(s)$: Este movimento consiste em dar folga a um dado CTA em um turno i do dia j e colocar um outro CTA para trabalhar no lugar deste. Desta maneira, neste movimento uma célula do vetor $e_{i,j}$ muda seu valor de 1 para 0, enquanto uma outra célula deste mesmo vetor mudar seu valor de 0 para 1.

Na Figura 2 têm-se um exemplo de aplicação do movimento $N^{AR}(s)$, considerando a solução exemplo da Figura 1.

$$\begin{aligned} e_{inicial(2,4)} &= [1, 0, 0, 0, 1] \\ e_{final(2,4)} &= [0, 0, 1, 0, 1] \end{aligned}$$

Figura 2: Exemplo aplicação do movimento $N^{AR}(s)$

Na Figura 2, nota-se que o CTA 1 deixou trabalhar no turno da noite do dia 4, sendo substituído pelo CTA 3.

Movimento Troca CTA - $N^T(s)$: Consiste em trocar duas células distintas, ou seja, diferentemente do movimento $N^{AR}(s)$, neste movimento podemos selecionar um CTA de um vetor $e_{i,j}$ e outro CTA de um vetor $e_{n,m}$, desde que se os dias forem iguais ($m == j$), os turnos devem ser diferentes ($n \neq i$).

$$\begin{aligned} e_{inicial(1,2)} &= [1, 0, 0, 1, 1] \\ e_{inicial(2,3)} &= [1, 0, 1, 0, 1] \\ e_{final(1,2)} &= [1, 0, 1, 0, 1] \\ e_{final(2,3)} &= [1, 0, 0, 1, 1] \end{aligned}$$

Figura 3: Exemplo aplicação do movimento $N^T(s)$

Na Figura 3, nota-se que o CTA 4 deixou trabalhar no turno da tarde do dia 2, sendo substituído pelo CTA 3. Além disso, o CTA 4 passou a trabalhar no turno da noite do dia 3, substituindo o CTA 3.

5 Cronograma de atividades

O cronograma de atividades para elaboração deste trabalho segue na Tabela 1.

Atividades	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Revisão de literatura	X	X						
Estudo da linguagem C++	X	X	X					
Implementação do algoritmo		X	X	X				
Submissão de um artigo nacional				X				X
Elaboração da Proposta de Monografia					X			
Redigir a Monografia						X	X	X
Apresentação do Trabalho								X

Tabela 1: Cronograma de Atividades.

Referências

- [1] L. A. F. Cabral, R. C. V. Pontes, M. J. F. Souza, and N. Maculan. An heuristic approach for large scale crew scheduling problems at rio sul airlines. In *Proceedings of the 40th International Symposium of the AGIFORS*, pages 1–16, Istanbul, 2000.
- [2] C. Camilo and D. Stelle. Aplicando algoritmos genéticos ao problema de definição de escala de trabalho do corpo de enfermagem de um hospital universitário. In *XL Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, pages 1216–1224, João Pessoa, PB, 2008.
- [3] C. C. Freitas. Uma ferramenta baseada em algoritmos geneticos para a geracao de tabela de horário escolar. In *Sétima Escola Reginal de Computação BAHIA-SERGIPE*, Vitória da Conquista/BA, 2007.
- [4] P. Hansen and N. Mladenovic. Variable neighborhood search: Principles and applications. *European Journal of Operational Research*, 130:449–467, 2001.
- [5] P. Hansen, N. Mladenovic, and J. A. M. Pérez. Variable neighborhood search. *European Journal of Operational Research*, 191:593–595, 2008.
- [6] P. Hansen, N. Mladenovic, and J. A. M. Pérez. Variable neighborhood search: methods and applications. *4OR: Quarterly journal of the Belgian, French and Italian operations research societies*, 6:319–360, 2008.
- [7] A. S. Mariano. Geração automática de grade horária para a faculdade de engenharia elétrica da ufu usando algoritmo genéticos. Mestrado em engenharia elétrica, DEE/UFU, Uberlândia, 2007.
- [8] R. Martí. Multi-start methods. In Fred Glover and Gary Kochenberger, editors, *Handbook of Metaheuristics*, volume 57 of *International Series in Operations Research & Management Science*, pages 355–368. Springer New York, 2003.
- [9] N. Mladenovic and P. Hansen. A variable neighborhood search. *Computers and Operations Research*, 24:1097–1100, 1997.
- [10] F. G. A. Mélo, E. L. F. Senne, and L. A. N. Lorena. Uma abordagem para o problema de escalonamento de motoristas. In *XXVI ENEGEP*, pages 1606–1617, Fortaleza, CE, 2006.
- [11] A. S. N. Silva, R. M. Sampaio, and G. B. Alvarenga. Uma aplicação de simulated annealing para o problema de alocação de salas. *Journal of Computer Science - InfoComp*, 4:59–66, 2005.
- [12] M. J. F. Souza, I. M. Coelho, S. Ribas, H. G. Santos, and L. H. C. Merschmann. A hybrid heuristic algorithm for the open-pit-mining operational planning problem. *European Journal of Operational Research, EJOR*, 207:1041–1051, 2010.