



**Leonardo Brando Lehmann**

**ROTEIRIZAÇÃO DO CORREIO AÉREO NACIONAL  
DA FORÇA AÉREA BRASILEIRA**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre (opção profissional) pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Departamento de Engenharia Industrial da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Nélio Domingues Pizzolato

Rio de Janeiro  
Setembro de 2008



**Leonardo Brando Lehmann**

## **ROTEIRIZAÇÃO DO CORREIO AÉREO NACIONAL DA FORÇA AÉREA BRASILEIRA**

Dissertação apresentada, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre (opção profissional) pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Departamento de Engenharia Industrial da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. Nelio Domingues Pizzolato**

Orientador

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

**Prof. Madiagne Diallo**

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

**Profa. Fernanda Maria Pereira Raupp**

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

**Profa. Vânia Barcellos Gouvêa Campos**

Instituto Militar de Engenharia – IME

**Prof. José Eugênio Leal**

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico / PUC-Rio

Rio de Janeiro, 18 de setembro de 2008

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

### **Leonardo Brando Lehmann**

Formado pela Academia da Força Aérea (curso de Formação de Oficiais Intendentes), em 1999. Em 2003 concluiu uma Pós-Graduação em Análise, Projeto e Gerência de Sistemas pela PUC-Rio. Em 2004 terminou um MBA em Gestão de Negócios e Tecnologia da Informação, pela FGV. Em 2006 tirou a certificação de Project Management Professional (PMP), pelo PMI - Project Management Institute. Em 2008 concluiu o Mestrado em Logística pela PUC-Rio. Está atualmente realizando uma Pós-Graduação de BI-Master Sistemas Inteligentes de Apoio à Decisão, pela PUC-Rio, com previsão de término em 2009. Atua na área de Tecnologia da Informação realizando treinamentos, projetos e desenvolvimentos de sistemas para Internet e Intranet no Comando da Aeronáutica.

#### Ficha Catalográfica

Lehmann, Leonardo Brando

Roteirização do Correio Aéreo Nacional da Força Aérea Brasileira / Leonardo Brando Lehmann ; orientador: Nélio Domingues Pizzolato. – 2008.

90 f. ; 30 cm

Dissertação (Mestrado em engenharia industrial) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

Inclui bibliografia

1. Engenharia industrial – Teses. 2. Militar. 3. Transporte. 4. Aéreo. 5. Roteirização. 6. Maximização de fluxos. 7. VRP. I. Pizzolato, Nélio Domingues. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. III. Título.

CDD: 658.5

## Agradecimentos

Primeiramente a Deus, pela oportunidade de realização de mais este importante passo em minha vida.

Agradeço aos meus pais por todo amor, paciência, apoio e carinho em todos estes anos. Meus verdadeiros mestres, modelos reais de perseverança, dedicação, paciência e ética.

Agradeço, carinhosamente, ao Professor Nélio pela orientação paciente, cuidadosa e prestativa com que me conduziu nesta etapa da minha formação acadêmica, particularmente na elaboração desta dissertação.

Incluo, de forma muito especial, o Professor Madiagne. Por ter cruzado meu caminho acadêmico neste momento, que com suas idéias, ajudou a permear o meu trabalho.

Ao Centro do Correio Aéreo Nacional, pela hospitalidade e atenção com que me recebeu para realização deste trabalho.

E finalmente, a você leitor ou leitora pelo interesse neste trabalho.

*“Antes de sentirmos que somos bons mestres,  
estejamos seguros de que somos bons estudantes”.*

**Pitágoras**

## Sumário

1. Introdução.....	8
1.1 Contexto.....	8
1.2 Problema.....	9
1.3 Objetivo.....	11
1.4 Organização do Trabalho.....	12
2. Revisão Bibliográfica.....	13
2.1 Introdução aos Problemas de Roteamento.....	13
2.2 Problema Clássico.....	23
2.3 Árvore Geradora Mínima.....	26
2.4 Método de Clarke-Wright.....	33
2.5 Problemas de Coleta e Entrega.....	35
3. Estudo de Caso.....	39
3.1 Introdução .....	39
3.2 Exemplos de Rotas.....	42
3.3 Resultados Obtidos.....	45
3.4 Análise dos Resultados.....	47
3.5 Abordagem Suplementar.....	48
4. Conclusão e Considerações para Futuros Trabalhos.....	53
Referências bibliográficas .....	55
Anexo I – Modelo IRP.....	58
Anexo II – Modelo VRPPD.....	64
Anexo III – Código-fonte em Pascal usando o Método de Clarke-Wright.....	79

## Resumo

Lehmann, Leonardo Brando; Pizzolato, Nélío Domingues (Orientador). **Roteirização do Correio Aéreo Nacional da Força Aérea Brasileira**. Rio de Janeiro, 2008. 90p. Dissertação de Mestrado (opção profissional) – Departamento de Engenharia Industrial. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Este trabalho examina o problema de determinação de rotas para um conjunto de aeronaves, a partir de um depósito central. O objetivo é a minimização de custos de distribuição, sujeito às restrições de demanda, bem como outras de caráter prático. A otimização das rotas, do tempo de ciclo e do número de aeronaves utilizadas em cada viagem é de interesse do Centro do Correio Aéreo Nacional (CECAN) da Força Aérea Brasileira, para utilização nas missões que realiza diariamente no território nacional. Uma das premissas do CECAN é a busca constante da melhoria de seus processos para atendimento às necessidades de transporte aéreo, não só da Força Aérea Brasileira, mas de todo o Brasil. O objetivo é determinar o(s) roteiro(s) otimizado(s) para a(s) aeronave(s) que atende(m) os clientes. Neste contexto, são examinados problemas de roteamentos, que são um conjunto organizado de meios que objetivam o atendimento de demandas localizadas nos arcos e/ou nos vértices de alguma rede de transportes. Será estudado um problema de roteirização de veículos (VRP) em que o depósito central é único, ocorrendo a visita aos clientes condicionada pelas necessidades totais de demanda de cargas e passageiros. A otimização busca, principalmente, tentar reduzir o número de aeronaves. Finalmente, é apresentada uma aplicação prática, utilizando o algoritmo do método Clarke-Wright, implementado em um programa feito em TURBO-PASCAL 7.0, de autoria de Antonio G. N. Novaes (1988). Esse algoritmo admite duas restrições: capacidade do veículo e limitação temporal, imposta por janela de trabalho ou outra. Os resultados obtidos, quando comparados com os procedimentos atuais se mostraram muito encorajadores. São apresentados, ao final, duas sugestões de metodologias encontradas na literatura: o Problema de Estoque e Roteirização (IRP) e o Problema da Roteirização de Veículos com Retiradas e Entregas (VRPPD), como contribuição para futuros estudos da otimização da organização do transporte de carga e de passageiros do Centro do Correio Aéreo Nacional (CECAN) da Força Aérea Brasileira. Devido à complexidade envolvida no embarque e desembarque de passageiros em cada cliente, este estudo optou apenas por abordar o transporte de cargas, mas a Seção Conclusão e Considerações para Futuros Trabalhos sugere a inclusão dos passageiros no estudo, o que transformaria o problema em um estudo do tipo IRP e VRPPD.

## Palavras-chave

Militar, transporte, aéreo, roteirização, maximização de fluxos, VRP.

## Abstract

Lehmann, Leonardo Brando; Pizzolato, Nélio Domingues (Advisor). **Routing of the National Air Mail Service of the Brazilian Air Force**. Rio de Janeiro, 2008. 90p. MSc. Dissertation (opção profissional) – Departamento de Engenharia Industrial. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This study is concerned with the problem of routing a fleet of aircrafts from a central depot. The objective is the minimization of the distribution costs subject to demand requirements constraints as well as to other practical constraints. The optimization of routes, the time-cycle and the number of aircrafts used on each trip is of interest to the National Air Mail Center (CECAN) of the Brazilian Air Force, for use on the missions it performs daily on national territory. One of the assumptions of CECAN is the constant quest for improvement of its processes to serve the needs of air transport, not only of the Brazilian Air Force, but of the entire country. The goal is to determine the optimized route(s) to the aircraft(s) that attend the customer(s). Routing systems are an organized set of procedures aimed to answer demands located in the edges and/or vertices of a transport network. It is an issue where the central deposit is unique, causing the visit to the clients to be constrained by the total needs of cargo and passengers. The optimization tries, mainly, to reduce the number of airplanes used or the time spent on each route, a more rational use of cargo space on the aircrafts and the reduction of general costs. Finally, an application was shown using the algorithm method of Clarke-Wright, implemented in a program made in TURBO-Pascal 7.0, authored by Antonio G.N. Novaes (1988). This algorithm allows two restrictions: the capacity of the vehicle and the time limitation, imposed by work window or another. The results, when compared with the intuitive approach presently used by the CECAN is very encouraging. At the end, two suggestions of methodologies found in the literature are presented: the Inventory Routing Problem (IRP) and the Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery (VRPPD), as a contribution to future studies on the optimization of the organization of cargo and passenger transportation of the National Air Mail Center (CECAN) of the Brazilian Air Force. Due to the complexity involved in landing and departure of passengers on each client, this study has chosen to only address the transportation of cargo, but the section Conclusions and Considerations for Future Works suggests the inclusion of passengers in the study, which would turn the problem into an IRP and VRPPD type of study.

## Keywords

Military, transportation, aviation, routing, maximization of flows, VRP.