

# **PROBLEMAS DE ROTEIRIZAÇÃO: UM ESTUDO DE CASO DO CORREIO AÉREO NACIONAL DA FORÇA AÉREA BRASILEIRA UTILIZANDO A METODOLOGIA CLARKE-WRIGHT**

**Leonardo Brando Lehmann**  
**Nélio Domingues Pizzolato**  
**Gustavo Brandão de Souza Rodrigues**

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro  
Departamento de Engenharia Industrial

## **RESUMO**

Este artigo aborda o problema de roteamento de um conjunto de aeronaves, partindo do Centro do Correio Aéreo Nacional (CECAN) da Força Aérea Brasileira. Os objetivos são: minimizar os custos de distribuição, sujeito às restrições de demanda e determinar o(s) roteiro(s) otimizado(s) para a(s) aeronave(s) que atende(m) o(s) cliente(s). Sendo assim são examinados alguns problemas de roteamento, que buscam atender as demandas localizadas nos arcos e / ou nos vértices de alguma rede de transportes. O problema a ser estudado consiste na visita aos clientes, conforme suas demandas de cargas e passageiros, partindo de um depósito central. Para tal, é utilizado o algoritmo do método Clarke-Wright. Os resultados obtidos apresentam grandes melhorias, comparados aos atuais procedimentos. Por fim, são apresentadas duas sugestões para futuros estudos: acrescentar ao problema a situação de embarque e desembarque de passageiros em cada cliente e comparar os resultados com a metodologia IRP.

**Palavras-Chave:** Militar, transporte aéreo, roteirização, maximização de fluxos, VRP.

## **ABSTRACT**

This article is concerned with the problem of routing a set of aircraft, from the National Air Mail Center (CECAN) of the Brazilian Air Force. The objectives are: minimize the costs of distribution, subject to the restrictions of demand and determine the optimized route(s) to the aircraft(s) that attends the client(s). So are discussed some problems of routing, which try to attend the demands located in the arcs and / or the vertices of a transportation network. The problem to be studied is the access to customers as their demands for cargo and passengers, from a central deposit. For this, an application was shown using the algorithm method of Clarke-Wright. The results shows a great improvement, compared to current procedures. Finally, two suggestions are presented for future studies: to add to the problem situation of landing and departure of passengers on each client and compare the results with the IRP methodology.

**Keywords:** Military, transportation, aviation, routing, maximization of flows, VRP.

## **1. INTRODUÇÃO**

O Centro do Correio Aéreo Nacional (CECAN) é o órgão central do Sistema do Correio Aéreo Nacional (SISCAN), localizado no Rio de Janeiro, responsável pela administração, logística e transportes aéreo de cargas e passageiros, nas missões do Correio Aéreo Nacional (CAN). O CECAN realiza cerca de 20 missões diárias regulares de transporte de pessoas e / ou de cargas pelos 24 Postos do Correio Aéreo Nacional (PCAN), espalhados pelo território brasileiro.

As missões são realizadas por aeronaves C-130, com uma capacidade máxima de 22.500 kg ou 80 passageiros. A rota inicia e termina no CECAN, após passar pelos PCANs correspondentes. Em cada PCAN pode ocorrer embarque e / ou desembarque de passageiros e / ou cargas. No transporte de passageiros há um sistema de cadastramento informatizado em cada PCAN para facilitar o embarque e desembarque. Apesar disso, esse sistema é descentralizado, ou seja, cada PCAN é responsável por gerenciar seus passageiros pela rota informada pelo CECAN, sendo assim não há como saber no início da rota quantos passageiros irão embarcar / desembarcar em cada destino. Já no caso do transporte de cargas, não há esse

sistema, ocasionando um desperdício de tempo e espaço na aeronave, diminuindo a eficiência do transporte.

O problema de planejamento das missões do CECAN somados à dificuldade de comunicação entre os PCANs, ocasiona um problema de planejamento de distribuição, característico do problema de estoque e roteirização e do problema de roteamento de veículos com entregas e retiradas.

Devido à complexidade envolvida no embarque e desembarque de passageiros, este estudo optou abordar apenas o transporte de cargas. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é elaborar uma metodologia alternativa aos modelos atuais do CECAN, buscando a otimização das rotas e minimização de custos de distribuição, inicialmente reduzindo o número de aeronaves para o cumprimento de missões. Para tal, foi feita uma modelagem que utiliza o algoritmo de Clarke e Wright, baseado no texto de Odoni e Larson (1981).

## **2. PROBLEMAS DE ROTEIRIZAÇÃO**

Os Problemas de Roteirização de Veículos pertencem a uma categoria ampla de pesquisa operacional conhecida como problemas de otimização de rede, segundo Golden, Ball, Assad e Bodin (1983). Nas últimas décadas, estes problemas têm recebido maior foco devido à necessidade de redução de custos desde a produção da mercadoria até sua distribuição e venda e principalmente porque pesquisas apontam que um percentual considerável do custo da mercadoria é advindo dos gastos decorrentes de sua distribuição física.

Há uma grande variedade de problemas correlatos: Problema de Roteamento de Veículos (PRV), Problema de Estoque e Roteirização (IRP), Problema do Caixeiro Viajante (TSP), Problema do Carteiro Chinês (PCC) e Problema da Roteirização de Veículos com Entregas e Retiradas (VRPPD). Estes problemas se resumem ao atendimento de uma demanda, que pode se apresentar na forma de coleta e / ou entrega de pessoas ou mercadorias em uma determinada região geográfica ou espacial. A função objetivo depende da tipologia e das características dos problemas. Os objetivos mais comuns são: minimização da frota de veículos, minimização do custo operacional, minimização do tempo de transporte, minimização da distância percorrida, maximização do benefício e do nível de serviço.

O Problema de Roteamento de Veículos (PRV) consiste no atendimento de um conjunto de consumidores por intermédio de uma frota de veículos, que parte de um ou mais pontos, denominados depósitos. A demanda dos clientes não pode exceder a capacidade do veículo. O objetivo é minimizar o custo total de atendimento.

O Problema do Carteiro Chinês (PCC) originou-se em 1962 através do estudo de um matemático da Universidade Normal de Shantgun, Kwan Mei-Ko, que durante sua passagem como funcionário dos correios, preocupou-se com o percurso dos carteiros que atenderiam as ruas da cidade e a partir daí definir o percurso com a menor distância possível.

O Problema de Estoque e Roteirização (IRP) trata da distribuição periódica de um ou mais produtos, através de veículos com capacidades limitadas, a partir de um ou mais depósitos, para um conjunto de clientes geograficamente dispersos dentro de um horizonte de planejamento finito ou não. O objetivo é minimizar a média diária do custo de distribuição durante o planejamento sem causar problemas de estoque para os clientes.

O Problema do Caixeiro Viajante (TSP) consiste em encontrar o roteiro de cidades (nós) a serem visitadas que minimize a distância total percorrida, garantindo que cada cidade seja visitada ao menos uma vez. Este tipo de problema encontra-se em outras áreas que não a logística, com diferentes restrições: restrições de horário de atendimento, capacidade dos veículos, duração máxima do roteiro dos veículos etc.

Estes problemas possuem grande relevância no contexto logístico e uma grande complexidade matemática, gerando um grande interesse em busca de novas estratégias de solução, resultando em uma grande quantidade de artigos na literatura especializada. Nos itens a seguir serão apresentados problemas de caráter mais tático ou estratégico que serão relevantes para o estudo do problema do CECAN.

### 2.1 O Problema Clássico

O problema clássico de roteamento de veículos consiste na seguinte situação: há  $n$  clientes espacialmente distribuídos, cada um com uma demanda de produtos. Estes produtos são entregues por uma frota de veículos homogêneos, partindo de uma mesma origem, passando pelos clientes pré-determinados pela rota e retornando ao ponto de partida, no caso o depósito. Este problema deve obedecer as seguintes restrições: a quantidade de produtos não deve exceder a capacidade dos veículos e o tempo de ciclo não deve ser ultrapassado. Por fim esse problema pode ter os seguintes objetivos: minimizar a distância percorrida pelos veículos; minimizar o número de veículos; minimizar uma combinação de custo de veículos e distâncias percorridas.

### 2.2 Árvore Geradora Mínima

O problema da Árvore Geradora Mínima (AGM) busca encontrar uma árvore dentre todas geradoras possíveis de um grafo  $G(V,A)$  com uma soma total de comprimentos de arcos mínimos. A solução deste problema é de grande auxílio para a resolução de problemas mais complexos, como o do caixeiro viajante. Há ainda um algoritmo desenvolvido por Christofides (1976), capaz de otimizar a AGM, com a propriedade da desigualdade triangular.

### 2.3 Método de Clarke e Wright

Este é um método de roteirização baseado no conceito de ganho, obtido ao se ligar dois nós de forma sucessiva num roteiro. Além disso o método deve atender as restrições de tempo de ciclo e capacidade dos veículos. Sendo  $D$  o depósito,  $i$  e  $j$  nós e  $s_{i,j}$  o valor dos ganhos, segue abaixo o método passo a passo:

- Passo 1: Calcular os ganhos  $s_{i,j}$  para todos os pares  $i,j$ . (  $s_{i,j} = d(D,i) + d(D,j) - d(i,j)$  )
- Passo 2: Ordenar os pares  $i,j$  na ordem decrescente de ganhos.
- Passo 3: Iniciar o roteiro pelo par  $i,j$  com, maior ganho  $s_{i,j}$  e seguindo a ordem obtida no passo 2.
- Passo 4: Para um par de nós  $i,j$  correspondente ao  $k$ -ésimo elemento da sequência obtida no Passo 2, verificar se  $i$  e  $j$  estão ou não incluídos no roteiro:
  - a. Se não estiverem incluídos, criar um novo roteiro com estes nós.
  - b. Se um dos nós pertencer ao roteiro, verificar se este é adjacente a  $D$ . Se positivo acrescentar o arco  $i,j$  ao roteiro. Caso contrário pular para o par  $i,j$  seguinte.
  - c. Se ambos pertencerem a roteiros distintos, verificar se ambos são extremos. Se positivo, juntar os dois roteiros. Caso contrário pular para o par  $i,j$  seguinte.
  - d. Se ambos pertencerem ao mesmo roteiro, pular para o par  $i,j$  seguinte.

- e. Após o término da lista de ganhos, se ainda houver algum nó não incluído em nenhum roteiro, criar um novo roteiro individualizado, ligando o nó ao depósito.

## 2.4 Problemas de Coleta e Entrega

Este problema, também conhecido pela sigla VRPPD, é uma extensão do Problema de Roteirização de Veículos (VRP), já que além de os veículos realizarem entregas de produtos, também realizam a coleta dos mesmos. O objetivo do VRPPD é minimizar a distância total percorrida pelos veículos, obedecendo ao limite de distância total percorrida e a capacidade máxima de carga dos veículos.

Savelbergh e Sol (1995) realizaram um estudo de grande importância para o desenvolvimento de problemas relacionados à modelagem do transporte com veículos semelhantes e capacidades distintas. Estas características estão presentes no problema do CECAN, a qual se refere este artigo. Sobre o estudo, Savelbergh e Sol (1995) apresentaram um *software* responsável pelo planejamento de transportes de uma grande companhia rodoviária da região da Benelux (Bélgica, Holanda e Luxemburgo), que contava com 1400 veículos para realizar dois tipos de serviços, transporte regular e direto, em milhares de endereços. A literatura do VRPPD apresenta três variantes do modelo:

- Entrega primeiro e coleta depois: os veículos só podem realizar a coleta após o término da entrega de toda a carga. Dentre as razões para isso está a dificuldade em reorganizar, dentro do veículo, quais os produtos foram coletados e quais ainda serão entregues. Como consequência pode ocorrer a sobrecarga do veículo e a inviabilidade do trajeto.
- Entregas e coletas mistas: os percursos realizados pelos veículos apresentam *linehauls* (clientes recebendo produtos) e *backhauls* (clientes enviando produtos) em ordem aleatória. Este modelo será adotado neste artigo, já que é o mais semelhante ao problema do CECAN, pois em qualquer PCAN poderá haver ou não cargas ou passageiros para embarque ou desembarque.
- Entregas e coletas simultâneas: os clientes podem enviar e receber produtos de forma simultânea, porém pode haver uma limitação adicional no serviço de coleta e entrega de um cliente ao mesmo tempo. Esta variante do VRPPD pode ser analisada e modelada da mesma forma que a de entregas e coletas mistas.

## 3. ESTUDO DE CASO

Para o estudo do problema foi necessária a construção da rede de transporte, rede de roteamento e de uma matriz origem-destino de caminhos mais curtos. A análise logística do CECAN evidenciou as seguintes características do sistema:

- O nível de serviço desejado é de 48 horas a partir da colocação da carga na aeronave;
- Embora as aeronaves transportem cargas e passageiros, para simplificação do problema, o estudo será limitado ao transporte de cargas;
- Cada pedido possui de 10 a 50 itens e peso médio entre 100 e 1.200 kg;
- A frota disponível é de 4 aeronaves do tipo C-130 Hércules com capacidade de 22.500 kg cada;
- O raio de distribuição é de 2.500 km, partindo do CECAN e abrangendo os 24 PCANs;
- O CECAN não possui qualquer ferramenta para elaborar e roteirizar as entregas dos pedidos;
- Não existem restrições de janelas de tempo ou quantidade de viagens por veículos / dia;
- A quantidade média de entregas por aeronave é de 6 a 14 toneladas / dia;
- O principal gargalo existente é o tempo de carga / descarga nos PCANs;

### 3.1 Modelagem dos roteiros

A solução para o problema apresentado teve como base o algoritmo do método de Clarke-Wright. O objetivo é determinar o(s) roteiro(s) otimizado(s) para a(s) aeronave(s) que atende(m) os PCANs, sujeito à capacidade da(s) aeronave(s) e a limitação temporal.

Partindo da informação de que cada PCAN é servido por  $n$  aeronaves, constituindo rotas entre o CECAN e cada PCAN e considerando  $c_{ij}$  o custo de viagem partindo de um cliente  $i$  a um cliente  $j$ , sendo este dado em função da distância percorrida ou do tempo de deslocamento, modelou-se três missões reais selecionadas. Abaixo segue a tabela 1 contendo as coordenadas de cada um dos 24 PCANs espalhados pelo território brasileiro. Cada um é passível de ser visitado em cada missão. Por se tratar da origem, o CECAN possui a coordenada (0,0).

**Tabela 1** - PCANs existentes.

PCAN	Sigla	Localidade	Coord. X (km)	Coord. Y (km)	PCAN	Sigla	Localidade	Coord. X (km)	Coord. Y (km)
1	CAN-BE	Belém (PA)	460	2365	13	CAN-FL	Florianópolis (SC)	550	480
2	CAN-BR	Brasília (DF)	440	785	14	CAN-FZ	Fortaleza (CE)	605	2090
3	CAN-CO	Canoas (RS)	845	715	15	CAN-LS	Lagoa Santa (MG)	40	385
4	CAN-GR	Guarulhos (SP)	385	55	16	CAN-NT	Natal (RN)	1870	990
5	CAN-MN	Manaus (AM)	1855	2200	17	CAN-YS	Pirassununga (SP)	440	135
6	CAN-RF	Recife (PE)	990	1630	18	CAN-PV	Porto Velho (RO)	2200	1580
7	CAN-CW	Alcântara (MA)	20	2285	19	CAN-SV	Salvador (BA)	555	1080
8	CAN-AN	Anápolis (GO)	550	755	20	CAN-SM	Santa Maria (RS)	1100	715
9	CAN-BV	Boa Vista (RR)	1820	2950	21	CAN-ST	Santos (SP)	365	120
10	CAN-CC	Cachimbo (PA)	1265	1570	22	CAN-SJ	São José dos Campos (SP)	240	20
11	CAN-CG	Campo Grande (MS)	1210	250	23	CAN-AF **	Afonso (RJ)	0	0
12	CAN-CT	Curitiba (PR)	660	240	24	CAN-GL (CECAN) *	Galeão (RJ)	0	0

Cada missão, realizada por uma aeronave C-130 Hércules, carregada com as demandas de cada PCAN, tem início e fim no CECAN. Abaixo estão os 3 roteiros referentes às missões, não sequenciais, com a ordem dos PCANs a serem visitados e o quanto de carga que a aeronave deverá descarregar em cada ponto. Dois fatores foram considerados: o tempo de ciclo, que é o tempo total levado pela aeronave para sair da origem, visitar todos os pontos e retornar à origem; e o tempo de parada, que é o tempo médio de carga e descarga da aeronave em cada ponto. Para a aplicação do método são necessários a capacidade da aeronave, sua velocidade média e o coeficiente de correção de distâncias, 22,5 ton, 700 km/h e 1,35 respectivamente.

**Tabela 2:** Roteiro 1

Ordem de Entrada	PCAN	Peso Médio (kg)
1	22	2000
2	4	650
3	21	470
4	13	940
5	17	3240

Dados Gerais:

- Tempo de Ciclo: 48 horas
- Tempo Médio de Parada: 2 horas
- Capacidade da Aeronave: 22 toneladas

**Tabela 3:** Roteiro 2

Ordem de Entrada	PCAN	Peso Médio (kg)	Ordem de Entrada	PCAN	Peso Médio (kg)
1	15	355	5	19	234
2	2	2345	6	21	3894
3	5	6543	7	4	4564
4	1	634			

Dados Gerais:

- Tempo de Ciclo: 96 horas
- Tempo Médio de Parada: 2 horas
- Capacidade da Aeronave: 22 toneladas

**Tabela 4: Roteiro 3**

Ordem de Entrada	PCAN	Peso Médio (kg)	Ordem de Entrada	PCAN	Peso Médio (kg)
1	19	394	5	7	480
2	6	3453	6	9	987
3	16	2332	7	22	1020
4	1	1231	8	8	1890

Dados Gerais:

- Tempo de Ciclo: 72 horas
- Tempo Médio de Parada: 1 horas
- Capacidade da Aeronave: 22 toneladas

### 3.2 Análise de resultados

A tabela 5 apresenta uma comparação entre a solução do CECAN e a solução otimizada pelo Clarke e Wright. Nela, observa-se que o roteiro 1 otimizado foi alterado apenas nos dois pontos finais o CAN-FL trocou de posição pelo CAN-YS, que por ser uma missão curta não teve uma alteração muito significativa. Já no roteiro 2, constatou-se que a alteração ocorreu no meio do percurso, o CAN-BE trocou de posição com o CAN-SV. O roteiro 3 é o que apresenta o resultado mais interessante, já que há mudança em quase todos os pontos em relação ao roteiro original. Em todos os roteiros, a solução apresentada pelo método Clarke e Wright produz um grande percentual de melhoria no tempo de ciclo, principalmente nos roteiros 2 e 3 que são mais longos.

**Tabela 5 – Comparativo entre as soluções do CECAN e do método Clarke e Wright**

Roteiro 1		Roteiro 2		Roteiro 3	
Rota CECAN	Rota Otimizada	Rota CECAN	Rota Otimizada	Rota CECAN	Rota Otimizada
CAN-SJ	CAN-SJ	CAN-LS	CAN-LS	CAN-SV	CAN-AN
CAN-GR	CAN-GR	CAN-BR	CAN-BR	CAN-RF	CAN-SV
CAN-ST	CAN-ST	CAN-MN	CAN-MN	CAN-NT	CAN-CW
CAN-FL	CAN-YS	CAN-BE	CAN-SV	CAN-BE	CAN-BE
CAN-YS	CAN-FL	CAN-SV	CAN-BE	CAN-CW	CAN-BV
		CAN-ST	CAN-ST	CAN-BV	CAN-RF
		CAN-GR	CAN-GR	CAN-SJ	CAN-NT
				CAN-AN	CAN-SJ
TC CECAN 48 horas	TC Otimizado 17,6 horas	TC CECAN 96 horas	TC Otimizado 16,7 horas	TC CECAN 72 horas	TC Otimizado 19,7 horas

Vale a pena ressaltar que estes resultados gerados pelo método não levaram em conta fatores que influenciam o voo, como condições climáticas, a época do ano, problemas mecânicos da aeronave e que as missões reais envolvem o transporte de passageiros e cargas. A ausência desses fatores na solução ótima contribuiu para a grande diferença entre as soluções.

### 3.3 Abordagem Suplementar

Tendo em vista os resultados obtidos, foi proposto um novo roteiro, hipotético, reunindo os PCANs dos roteiros anteriores em uma única missão, ilustrado na tabela 6. O tempo de ciclo será a soma dos tempos dos três roteiros anteriores e o tempo de parada será de 1 hora.

**Tabela 6: Roteiro 4**

Ordem de Entrada	PCAN	Peso Médio (kg)	Ordem de Entrada	PCAN	Peso Médio (kg)
1	19	394	11	5	6543
2	6	3453	12	1	634
3	16	2332	13	19	234
4	1	1231	14	21	3894
5	7	480	15	4	4564
6	9	987	16	22	2000
7	22	1020	17	4	650
8	8	1890	18	21	470
9	15	355	19	13	940
10	2	2345	20	17	3240

Dados Gerais:

- Tempo de Ciclo: 216 horas
- Tempo Médio de Parada: 1 horas
- Capacidade da Aeronave: 22 toneladas

O método Clarke e Wright apresenta como solução ótima duas rotas menores, em vez de uma única com os 20 PCANs, inicialmente proposta. A tabela 7 estabelece um comparativo entre o roteiro 4 original e a solução otimizada. Observa-se uma drástica redução do tempo de ciclo de 216 horas para 44,7 horas, porém a metodologia não levou em consideração os fatores de voo.

**Tabela 7 – Comparativo entre o roteiro 4 original e a solução otimizada.**

Roteiro 4		
Pontos Originais	1º Roteiro (Otimizado)	2º Roteiro (Otimizado)
CAN-SV	CAN-FL	CAN-SJ
CAN-RF	CAN-ST	CAN-GR
CAN-NT	CAN-SJ	CAN-GR
CAN-BE	CAN-NT	CAN-YS
CAN-CW	CAN-SV	CAN-ST
CAN-BV	CAN-BE	CAN-BR
CAN-SJ	CAN-MN	CAN-LS
CAN-AN	CAN-BV	
CAN-LS	CAN-BE	
CAN-BR	CAN-BE	
CAN-MN	CAN-CW	
CAN-BE	CAN-SV	
CAN-SV	CAN-AN	
CAN-ST		
CAN-GR		
CAN-SJ		
CAN-GR		
CAN-ST		
CAN-FL		
CAN-YS		
TC = 216 horas	TC = 29,8 horas	TC = 14,9 horas
Carga transp. = 37,6 t	Carga transp. = 20,6 t	Carga transp. = 17 t
	Dist. Total = 2648,4 km	Dist. Total = 613,3 km

Por fim a tabela 8 apresenta todas as soluções otimizadas. Para o roteiro 4 otimizado o modelo calculou 2 roteiros somando um total de 44,7 horas, enquanto que os roteiros 1, 2 e 3 otimizadas somaram 54 horas. Constata-se ainda uma redução do número de aeronaves para 2 ao invés de 3 (uma para cada roteiro), e que o roteiro 4 poderia ser realizado ao mesmo tempo pelas aeronaves, maximizando o uso desses recursos.

**Tabela 8: Comparativo das soluções dos roteiros otimizadas.**

Roteiro 1	Roteiro 2	Roteiro 3	Roteiro 4	
Rota Otimizada	Rota Otimizada	Rota Otimizada	Rota Otimizada 1	Rota Otimizada 2
CAN-SJ	CAN-LS	CAN-AN	CAN-FL	CAN-SJ
CAN-GR	CAN-BR	CAN-SV	CAN-ST	CAN-GR
CAN-ST	CAN-MN	CAN-CW	CAN-SJ	CAN-GR
CAN-YS	CAN-SV	CAN-BE	CAN-NT	CAN-YS
CAN-FL	CAN-BE	CAN-BV	CAN-SV	CAN-ST
	CAN-ST	CAN-RF	CAN-BE	CAN-BR
	CAN-GR	CAN-NT	CAN-MN	CAN-LS
		CAN-SJ	CAN-BV	
			CAN-BE	
			CAN-BE	
			CAN-CW	
			CAN-SV	
			CAN-AN	
TC Otimizado	TC Otimizado	TC Otimizado	TC Otimizado	TC Otimizado
17,6 horas	16,7 horas	19,7 horas	29,8 horas	14,9 horas
TC Otimizado Total			TC Otimizado Total	
54 horas			44,7 horas	

#### **4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A resolução deste problema de roteamento do CECAN baseou-se em uma metodologia simples. Inicialmente fez-se a localização dos pontos de demanda em um mapa, com isto, obtiveram-se as coordenadas geográficas de cada ponto de demanda, fixando-se a origem no depósito central pelo sistema cartesiano. Depois se formaram as rotas envolvendo os pontos de demanda. Finalmente, fizeram-se melhorias nestas rotas.

A solução otimizada apresentou melhorias significativas, como a minimização do tempo de ciclo na rota da aeronave, ocasionando uma economia de combustível e manutenção de fatores importantes para o CECAN. Porém esta solução otimizada pode não significar que seja uma boa solução para o CECAN, já que este possui particularidades na sua forma de atendimento, como o embarque e desembarque de passageiros em cada PCAN.

Como sugestão para futuros trabalhos pode-se acrescentar ao problema a particularidade do embarque e desembarque de passageiros em cada PCAN, transformando em um Problema da Roteirização de Veículos com Entregas e Retiradas (VRPPD). Outra sugestão interessante seria comparar os resultados obtidos com outras metodologias para tratar de problemas de roteamento, como o Problema de Estoque e Roteirização (IRP).

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Bodin, L.D.; Golden, B.; Assad, A. and Ball, M. (1983) Routing and scheduling of vehicles and crews: The state of the art. *Computers and Operations Research*, vol. 10, n. 2.
- Christofides, N.; Mingozzi, A. e Toth, P. (1979) The Vehicle Routing Problem, in *Combinatorial Optimization*, pp. 315-338, N. Christofides, A. Mingozzi, P. Toth and C. Sandi (eds.), Wiley, Chichester.
- Larson, R.C. & Odoni, A.R. (1981) *Urban Operations Research*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Savelsbergh, M.W.P. e Sol, M. (1995) The General Pickup and Delivery Problem. *Transportation Science*, 29, 17-29.