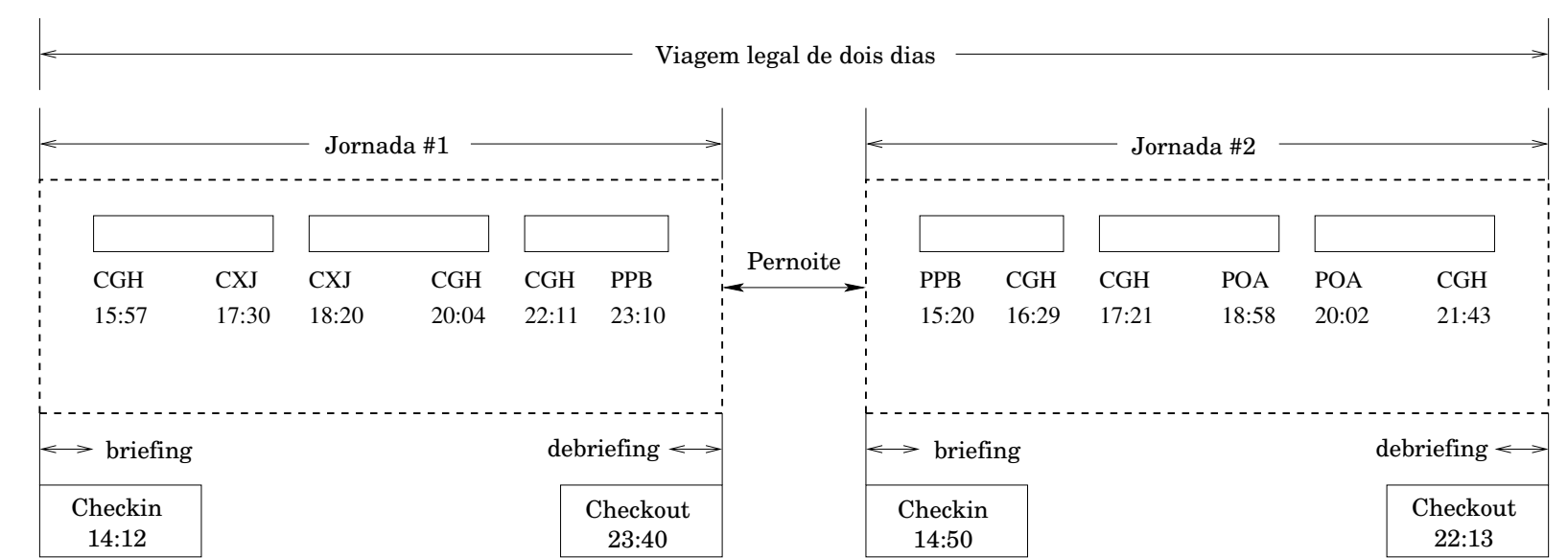


## INTRODUÇÃO

Os gastos com tripulação de uma companhia aérea representam o segundo maior custo operacional, perdendo apenas para combustível. Um processo otimizado de escalonamento pode resultar em ganhos econômicos da ordem de milhões.

O problema de escalonamento é resolvido em duas etapas. Primeiro, determina-se uma partição dos voos em um conjunto de viagens legais de custo mínimo (PDV). Segundo, as viagens assim obtidas devem ser atribuídas aos tripulantes de forma a minimizar os custos (PDE). Estudamos aqui o **PDV**.

Uma viagem é definida como uma sequência de voos encadeados, originando e terminando na base residencial do tripulante e obedecendo uma série de restrições legais impostas pela legislação **brasileira** do aeronauta.



Implementamos e comparamos três métodos de solução do PDV: um algoritmo baseado em busca local, um algoritmo genético híbrido e um procedimento exato de geração de colunas para resolução do PL relaxado.

## FORMULAÇÃO

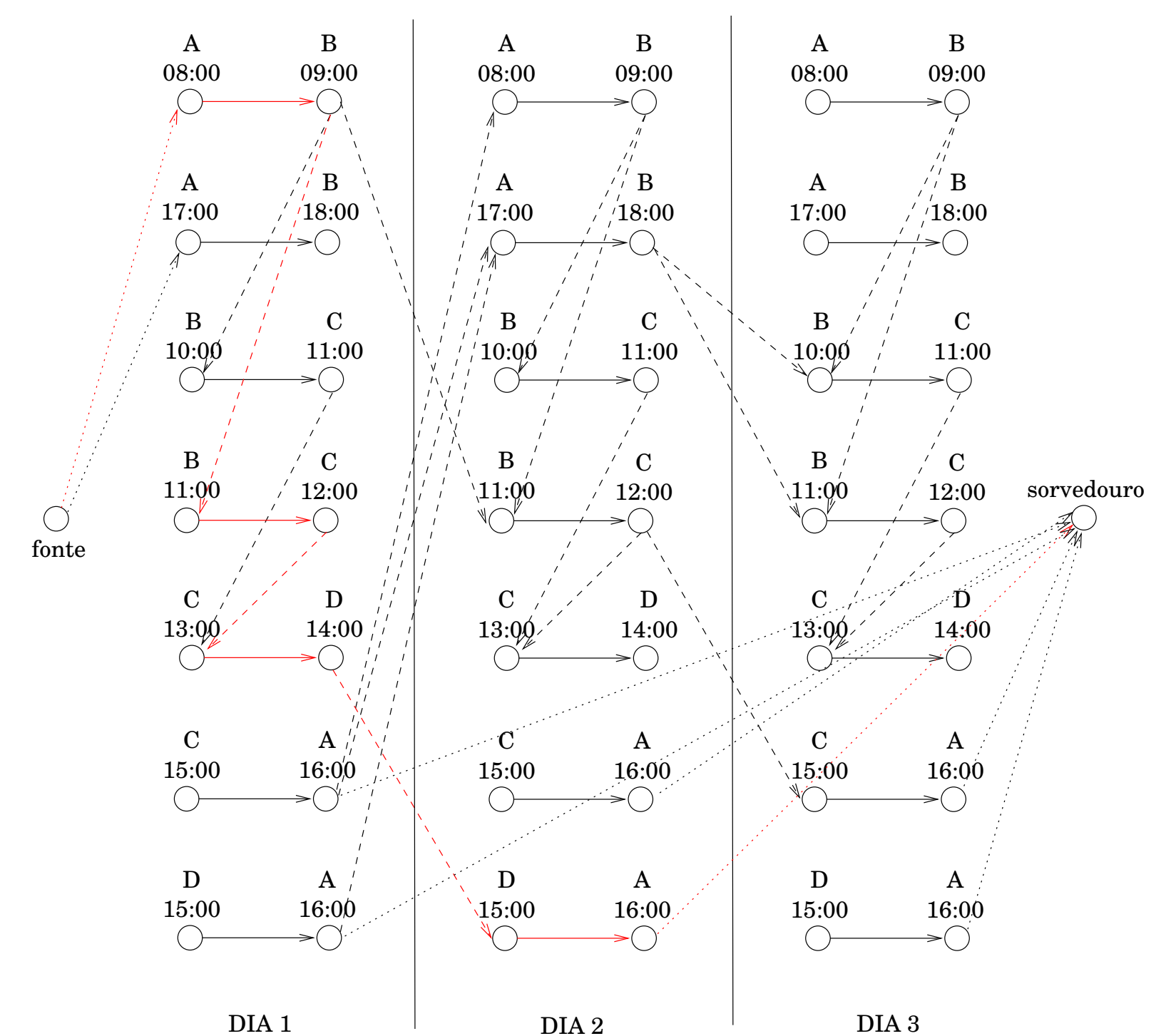
O PDV pode ser formulado como um problema de PLI conhecido por **Set Cover**. Seja  $c_j$  o custo da viagem  $j$ . Seja  $x_j = 1$  se a viagem  $j$  for escolhida ( $x_j = 0$  caso contrário). Seja  $y_i \in \mathbb{N}$  o número de vezes que o voo  $i$  é coberto com custo  $d_i$  associado. Definindo  $a_{ij} = 1$  se a viagem  $j$  cobre o voo  $i$  ( $a_{ij} = 0$  caso contrário), então queremos resolver

$$\begin{aligned} &\text{minimizar} && \sum_{j=1}^n c_j x_j + \sum_{i=1}^m d_i y_i \\ &\text{sujeito à} && \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j - y_i = 1, \quad i = 1, \dots, m \\ &&& x_j \in \{0, 1\}, \quad j = 1, \dots, n \\ &&& y_i \geq 0, \quad i = 1, \dots, m. \end{aligned}$$

Dado que o problema é NP-difícil e que existe um número enorme de variáveis (viagens possíveis), métodos heurísticos devem ser aplicados.

## GERADOR DE VIAGENS

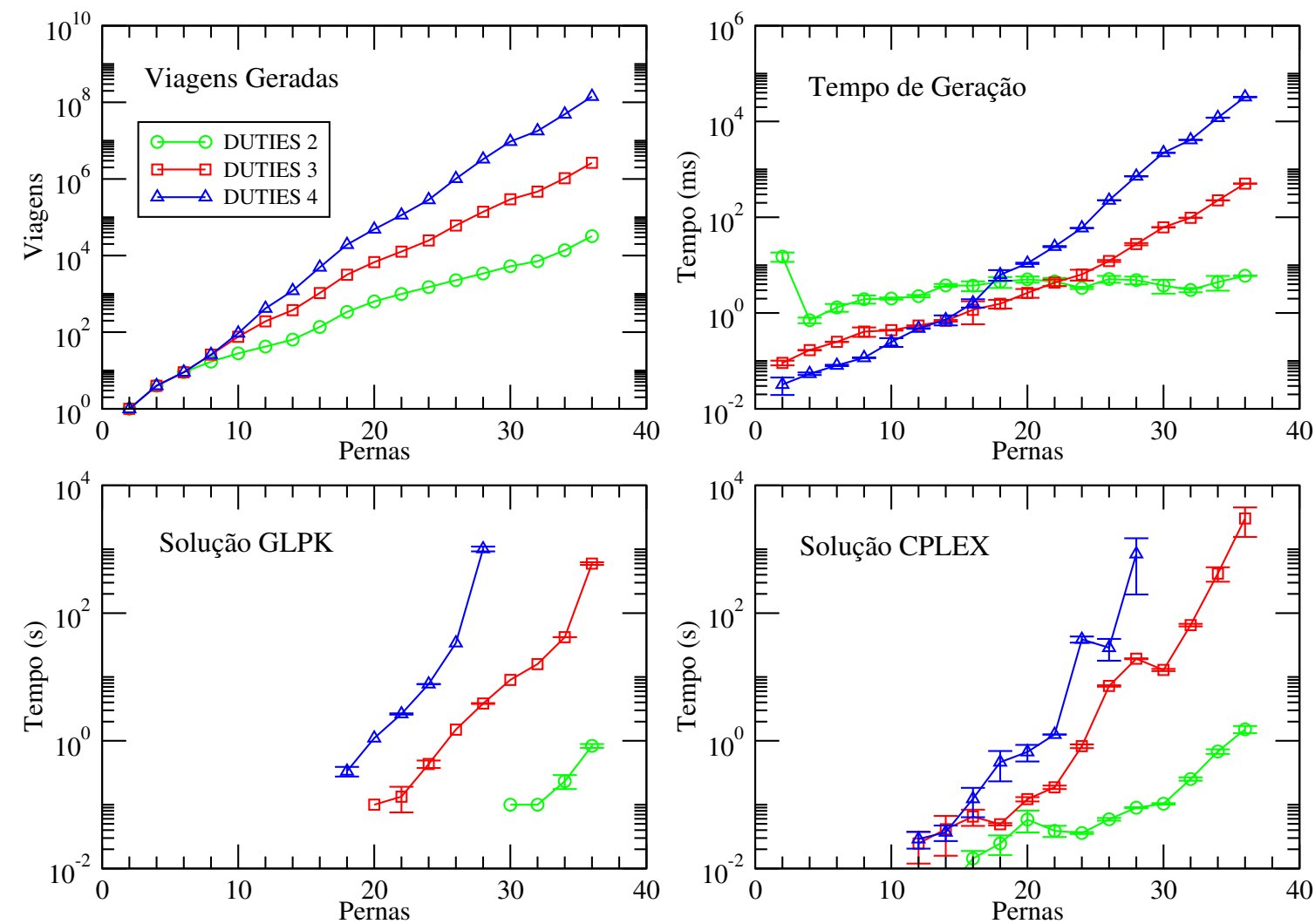
As viagens para otimização são geradas a partir de uma **busca em profundidade** na rede de voos do problema. Os nós representam pontos de partida e chegada dos voos e arcos são adicionados toda vez que for possível estabelecer uma conexão legal entre os voos. Os voos que partem da base da tripulação são ligados à fonte  $s$ . Os voos que chegam na base são ligados ao sorvedouro  $t$ . Toda viagem viável representa um caminho  $s - t$  no grafo.



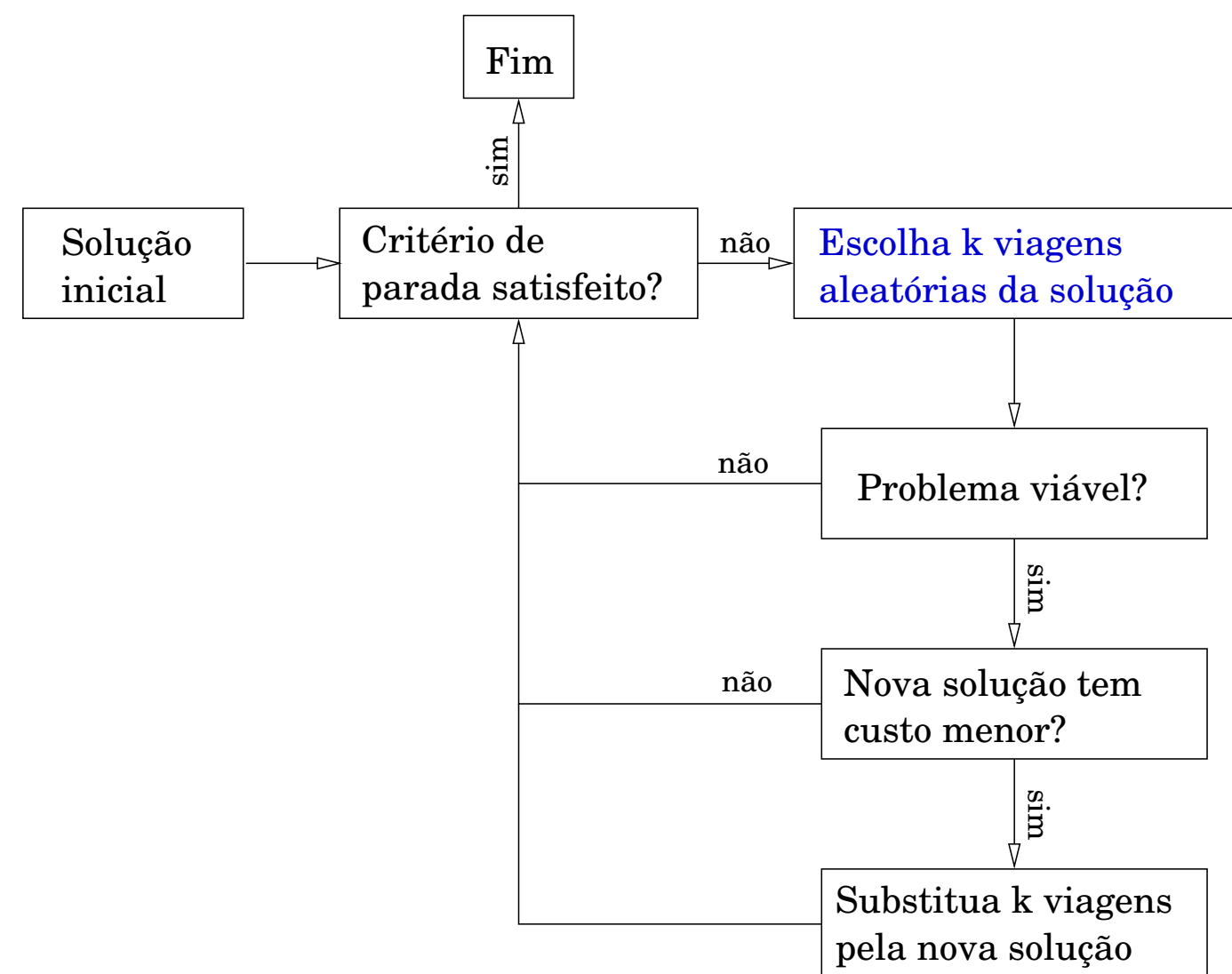
## ANÁLISE PRELIMINAR

Resolvemos de maneira exata o PDV para uma instância de voos da ponte aérea utilizando os otimizadores **GLPK** e **Cplex**.

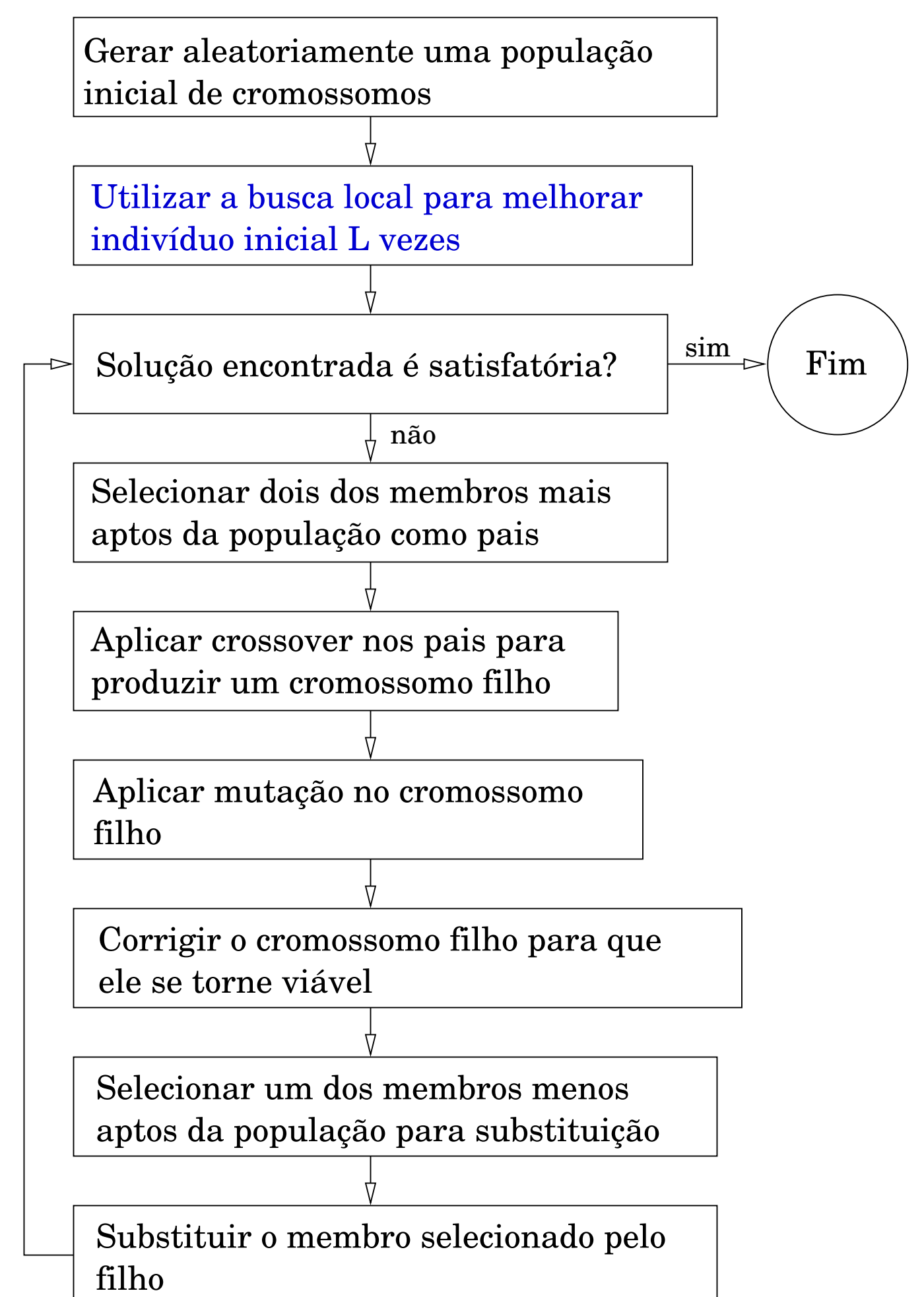
Dado o número enorme de variáveis geradas, os problemas não puderam ser resolvidos em tempo aceitável (24 horas), mesmo para um número pequeno de pernas (voos).



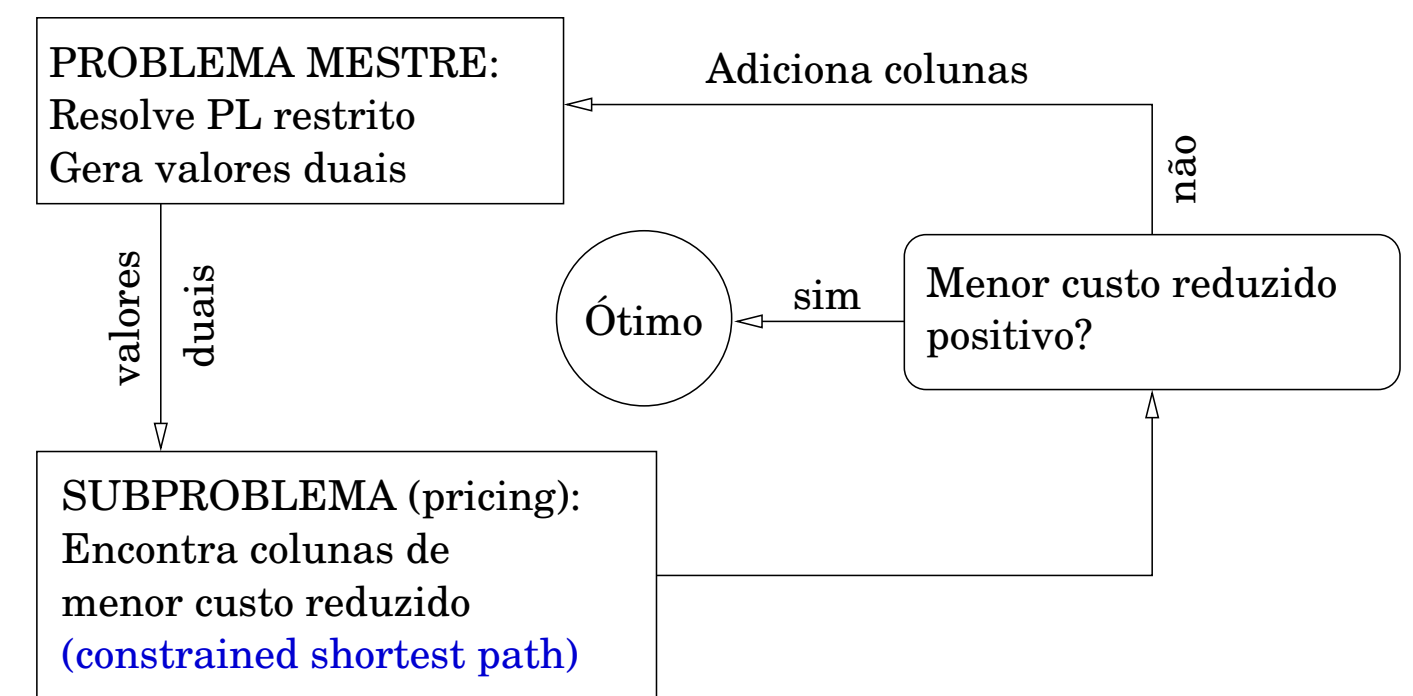
## BUSCA LOCAL



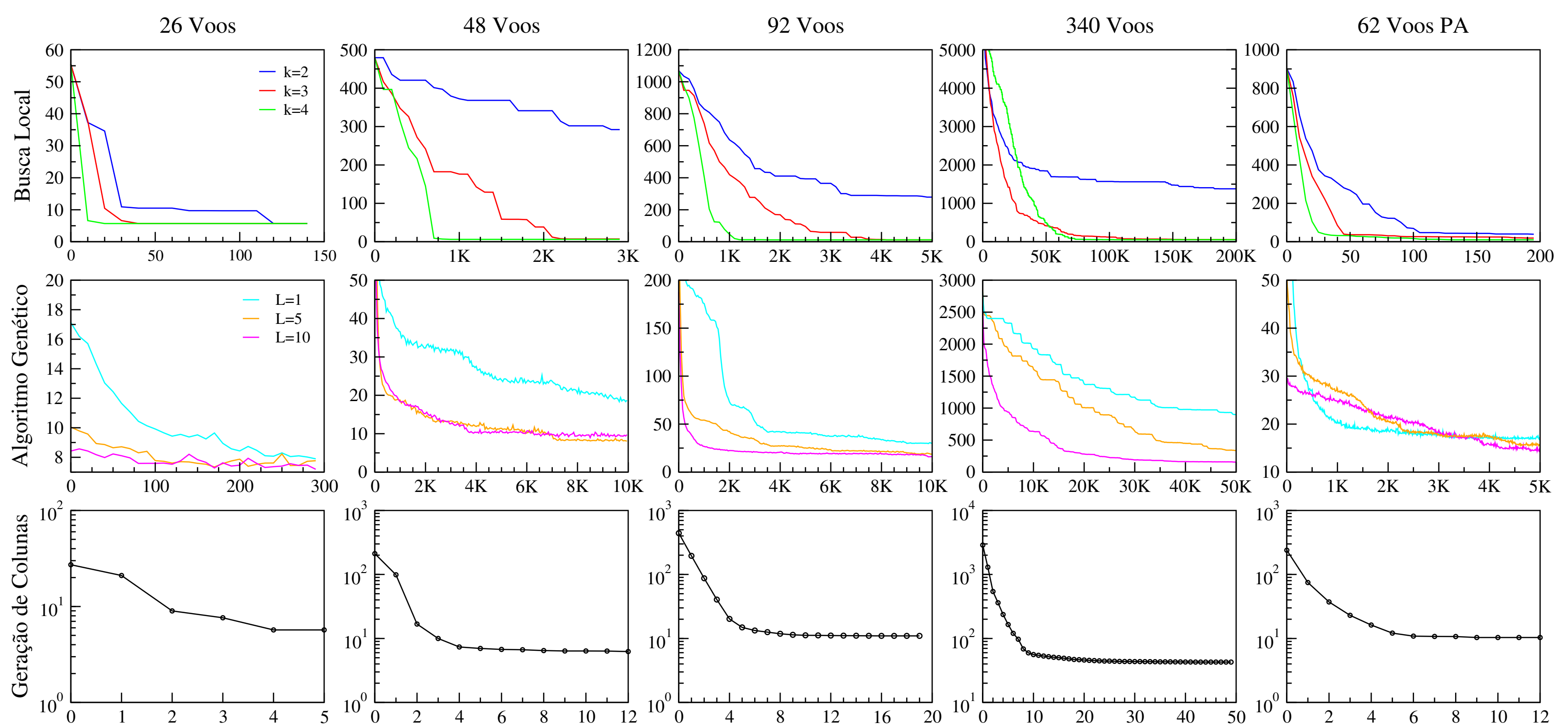
## ALGORITMO GENÉTICO



## GERAÇÃO DE COLUNAS



## RESULTADOS



		26 voos		48 voos		92 voos		340 voos		62 voos PA	
		OBJ (DH)	CPU	OBJ (DH)	CPU	OBJ (DH)	CPU	OBJ (DH)	CPU	OBJ (DH)	CPU
BL	$k = 2$	0% (0)	1,10	>100% (116)	1,22	>100% (124)	3,16	>100% (654)	208,44	>100% (8)	0,79
	$k = 3$	0% (0)	1,48	14,1% (0)	7,91	8,1% (0)	18,68	32,5% (9)	1303,53	87,7% (0)	1,31
	$k = 4$	0% (0)	1,81	0% (0)	11,46	7,7% (0)	99,09	25,5% (11)	2182,31	0% (0)	17,83
AG	$L = 1$	0% (0)	1,39	78,1% (2)	4,35	>100% (9)	8,30	>100% (476)	1074,97	56,2% (0)	4,31
	$L = 5$	0% (0)	4,17	13,8% (0)	13,19	46,4% (0)	10,79	>100% (208)	763,19	36,2% (0)	13,99
	$L = 10$	0% (0)	11,01	0% (0)	33,99	72,2% (3)	17,85	>100% (78)	482,10	30,5% (0)	27,50

GC = geração de colunas. BL = busca local. AG = algoritmo genético. PA = ponte aérea. OBJ = valor da função objetivo (% indica a diferença em relação à GC). DH = número de voos sobrecobertos (*deadheadings*). CPU = tempo de processamento em segundos.  $k$  = número de viagens sorteadas na BL.  $L$  = número de otimizações no indivíduo inicial no AG.

## CONCLUSÕES

- A geração de colunas é rápida e fornece um limitante inferior para o custo da solução.
- A busca local é eficiente e mostrou bons resultados em todas as instâncias para  $k = 3$ .
- O algoritmo genético converge rapidamente para um mínimo local com  $L$  suficientemente grande.

## PERSPECTIVAS

- Implementação de um esquema branch-and-price para obtenção de solução inteira a partir da geração de colunas.
- Combinação e paralelização das heurísticas estudadas, explorando os pontos fortes de cada uma delas.
- Possível sistema comercial.