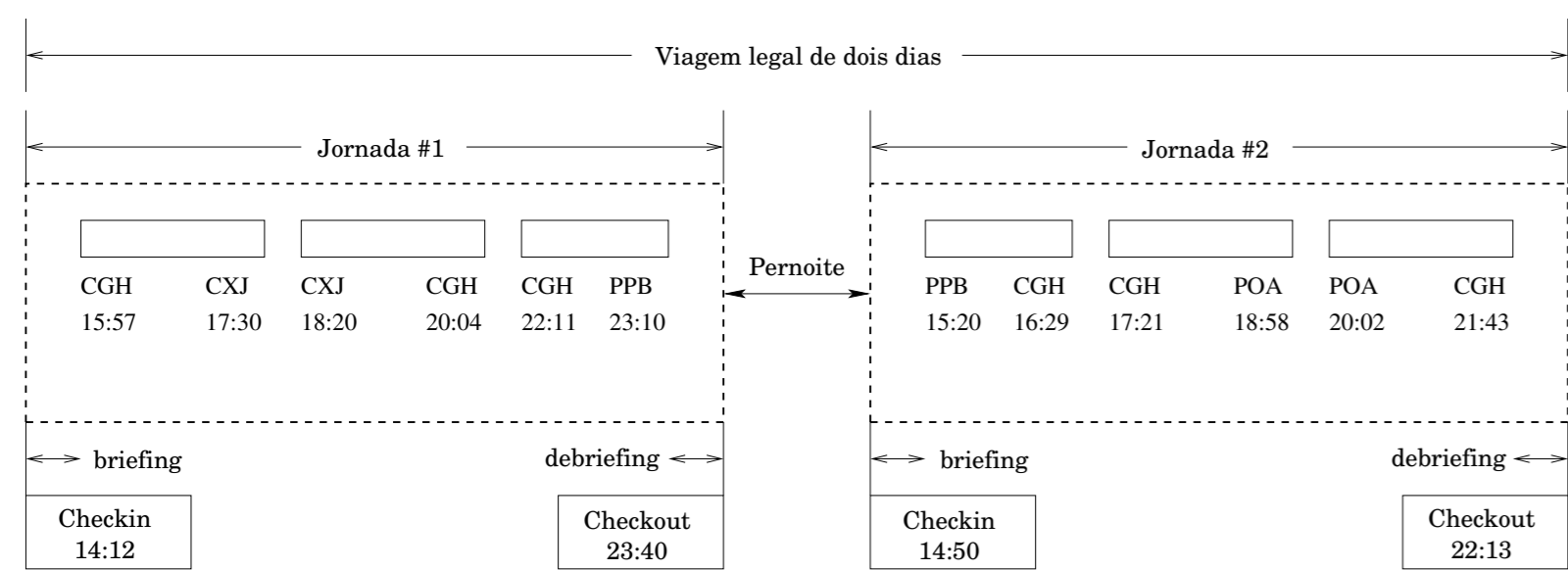


## INTRODUÇÃO

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

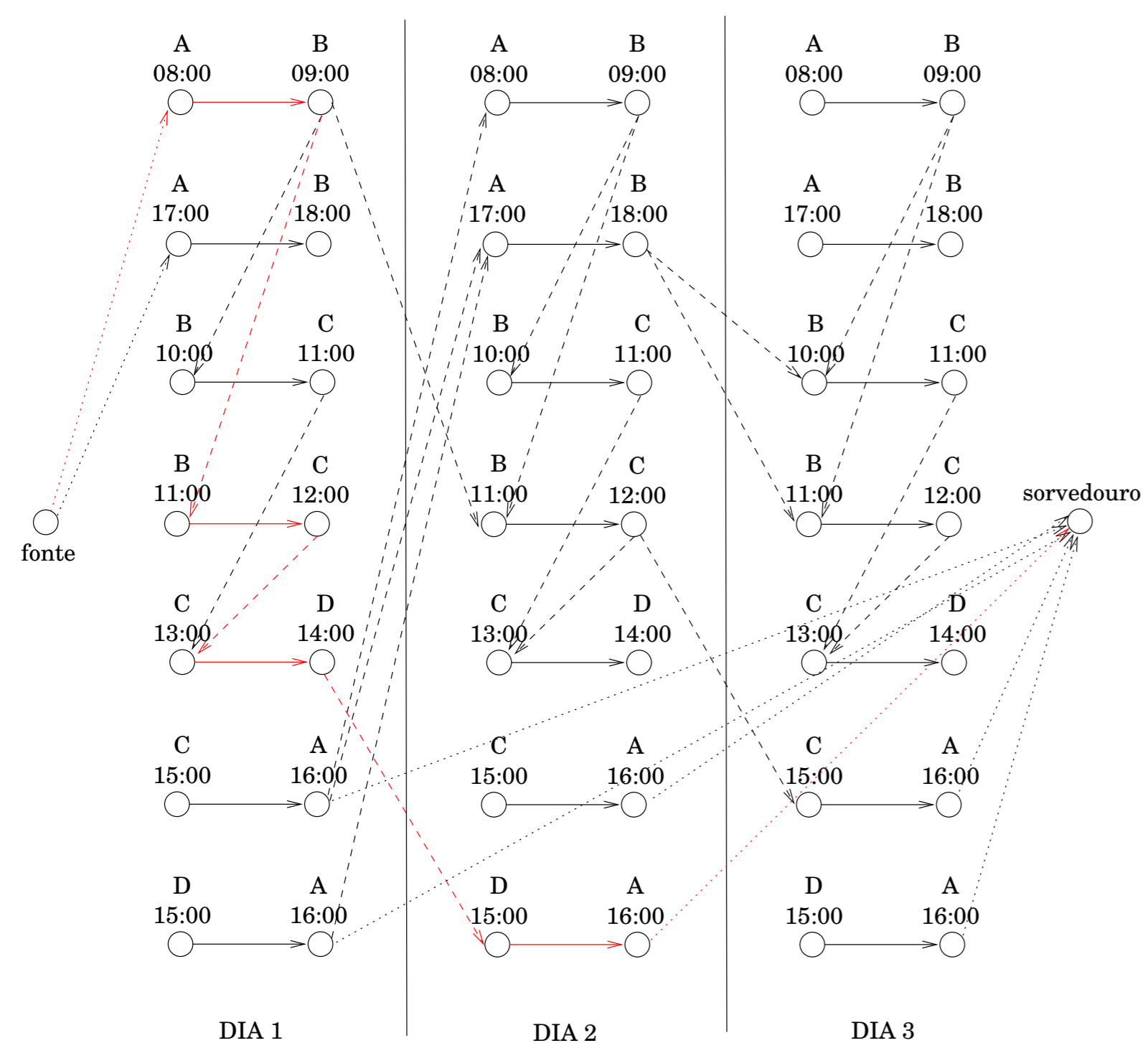
O PDV pode ser formulado como um problema de PL conhecido por **Set Cover**. Seja  $c_j$  o custo da viagem  $j$ . Seja  $x_j = 1$  se a viagem  $j$  for escolhida ( $x_j = 0$  caso contrário). Seja  $y_i \in \mathbb{N}$  o número de vezes que o voo  $i$  é coberto com custo  $d_i$  associado. Definindo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

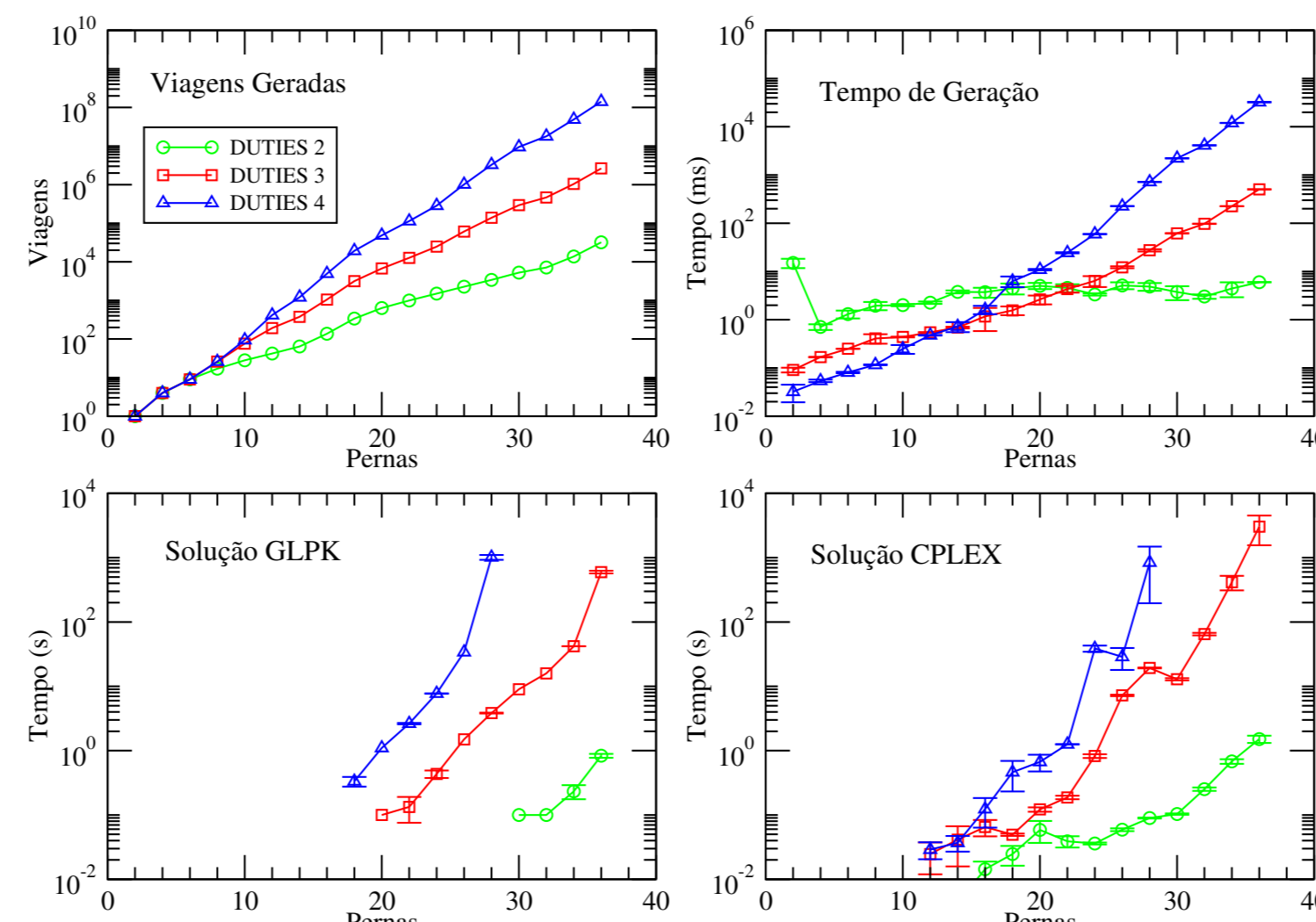
As viagens para otimização são geradas a partir de uma **busca em profundidade** na rede de voos do problema. Os nós representam pontos de partida e chegada dos voos e arcos são adicionados toda vez que for possível estabelecer uma conexão legal entre os voos. Os voos que partem da base da tripulação 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.



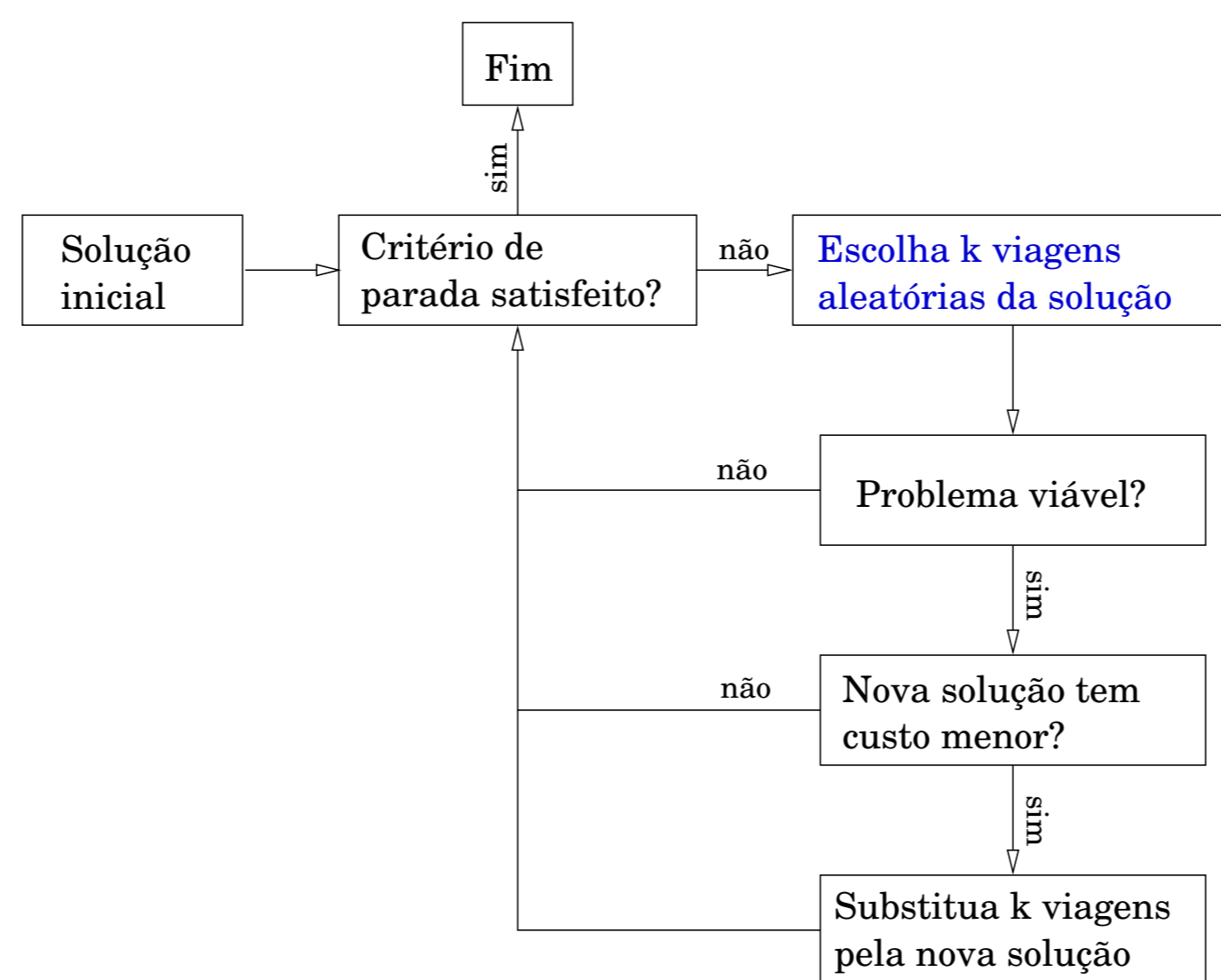
## ANÁLISE PRELIMINAR

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

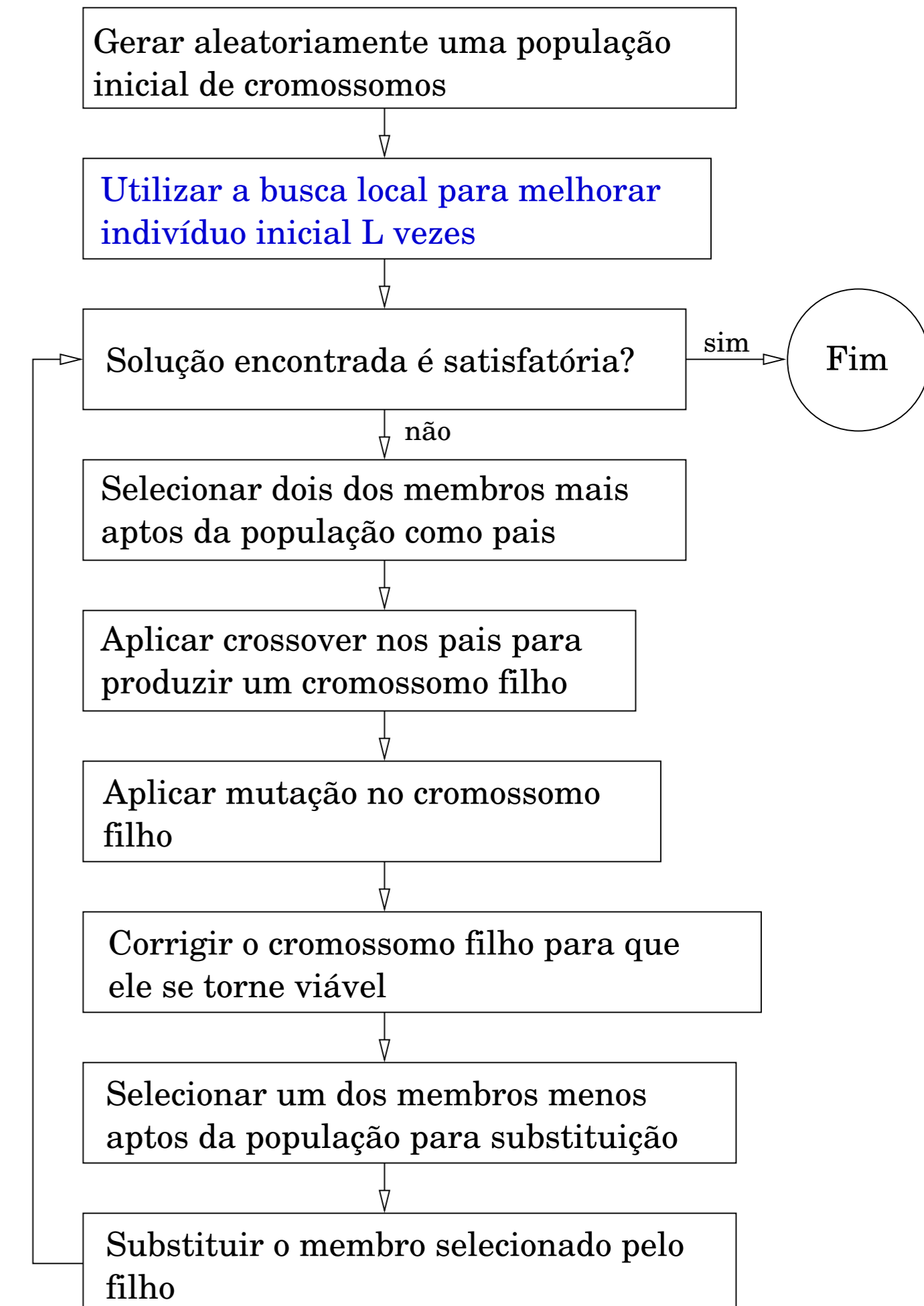
Dado o número enorme de variáveis geradas, os problemas não puderam ser resolvidos em tempo aceitável (24 horas), mesmo para um número pequeno de pernas (voos).



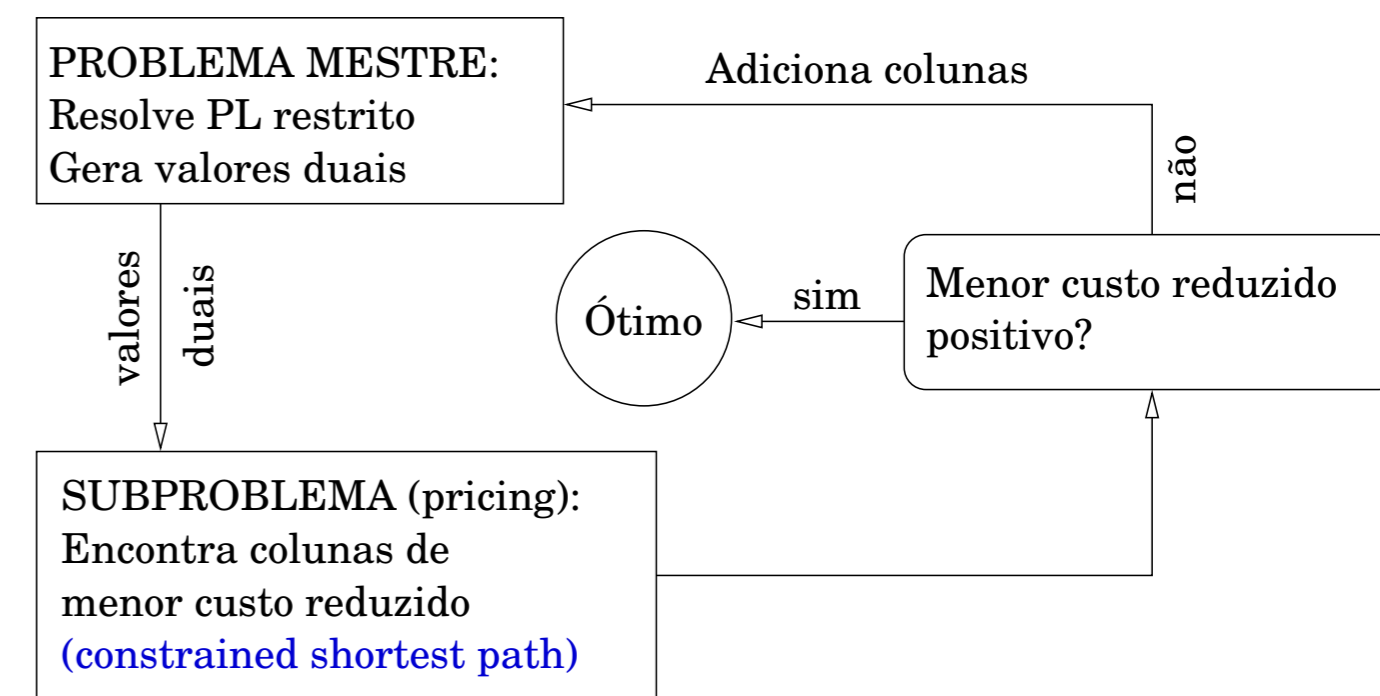
## BUSCA LOCAL



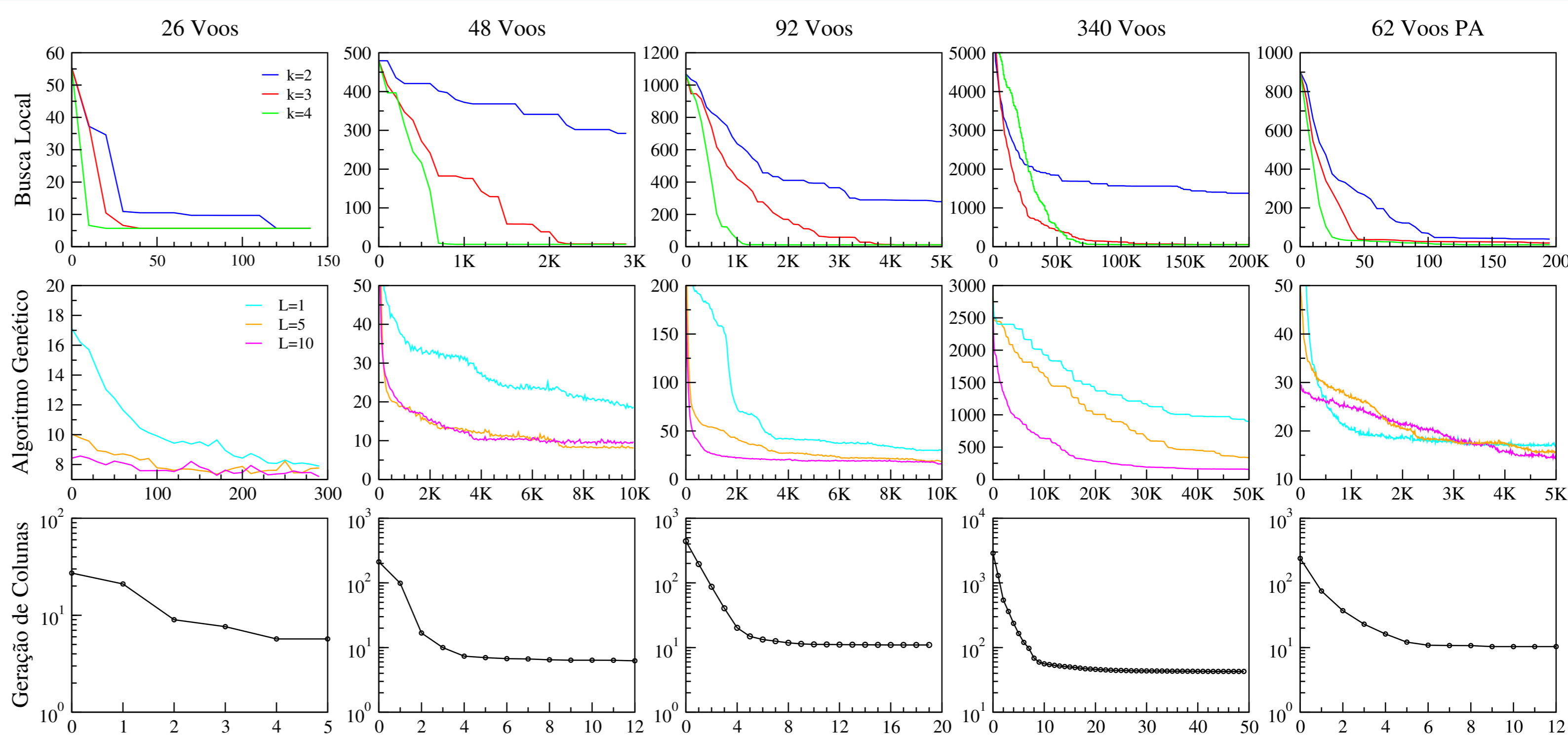
## ALGORITMO GENÉTICO



## 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
GC		5,696 (0)	0,26	6,230 (0)	0,54	10,973 (0)	1,36	42,744 (0)	54,02	10,103 (0)	1,13
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.