

Série dos Seminários de Acompanhamento à Pesquisa

DEI
DEPARTAMENTO
DE ENGENHARIA
INDUSTRIAL

Número 13 | 09 2021

Alocação de colaboradores qualificados em missões de fiscalização de uma agência reguladora

Autor:

Flávio Araújo Lim-Apo



Série dos Seminários de Acompanhamento à Pesquisa

Número 13 | 09 2021

Alocação de colaboradores qualificados em missões de fiscalização de uma agência reguladora

Autor:

Flávio Araújo Lim-Apo

Orientador: Silvio Hamacher

Coorientadora: Silvia Araújo dos Reis (UnB)

CRÉDITOS:

SISTEMA MAXWELL / LAMBDA
<https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/>

Organizadores: Fernanda Baião / Soraida Aguilar

Layout da Capa: Aline Magalhães dos Santos

Apresentação pessoal

- Formado em Administração pela UnB (2017)
- Mestrado em Engenharia de Produção – Transporte e Logística – 3º semestre
- Orientador: Silvio Hamacher;
- Co-Orientadora: Silvia Araújo dos Reis (UnB)

- Canal no YouTube (SudoControl), Excel, Python, Google Maps API até sobre pesquisa operacional - utilizando o Solver do Excel, LINGO e What's Best!. Atualmente existem mais de 470 vídeos
- <https://www.Sudocontrol.com.br>

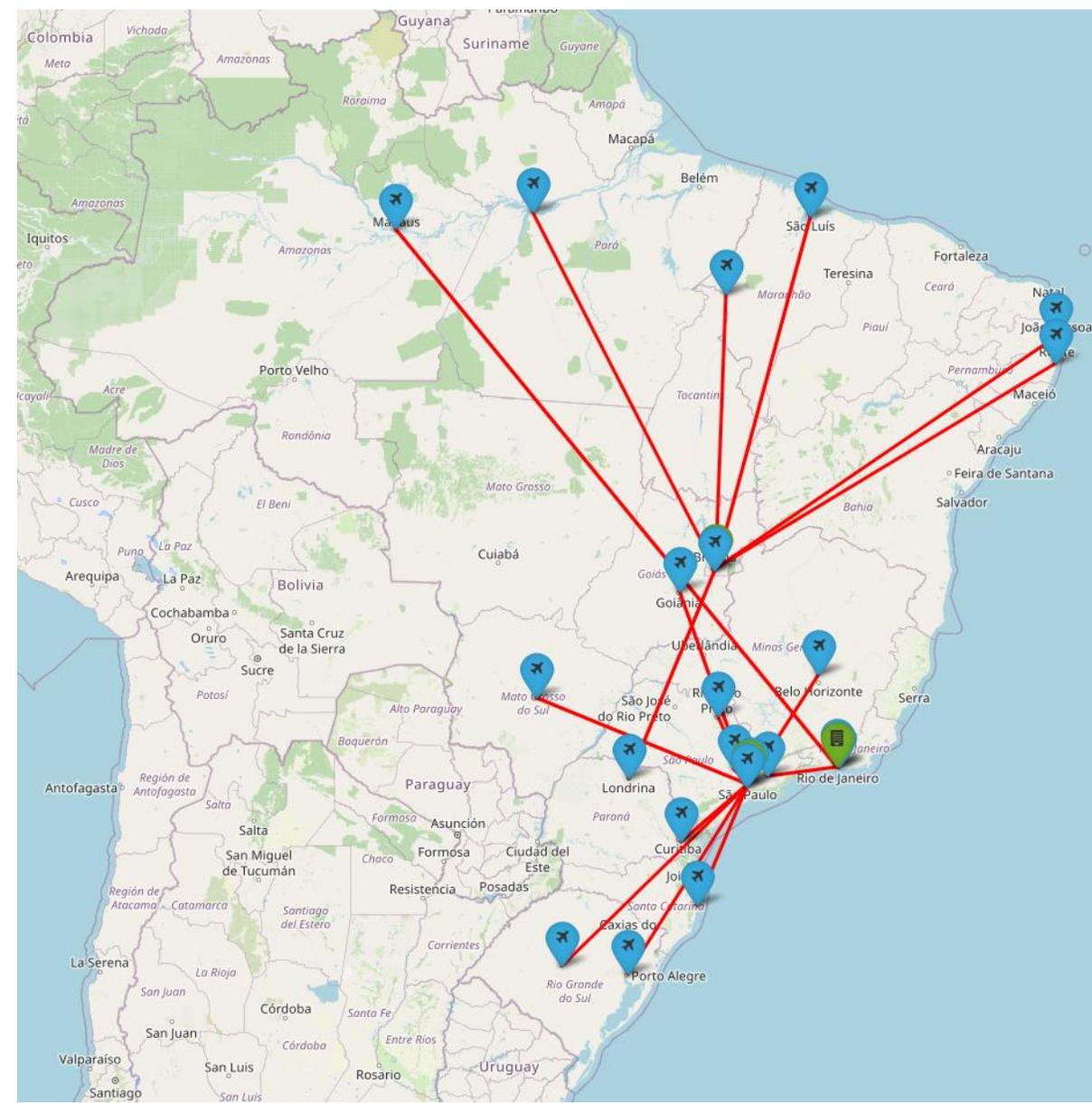
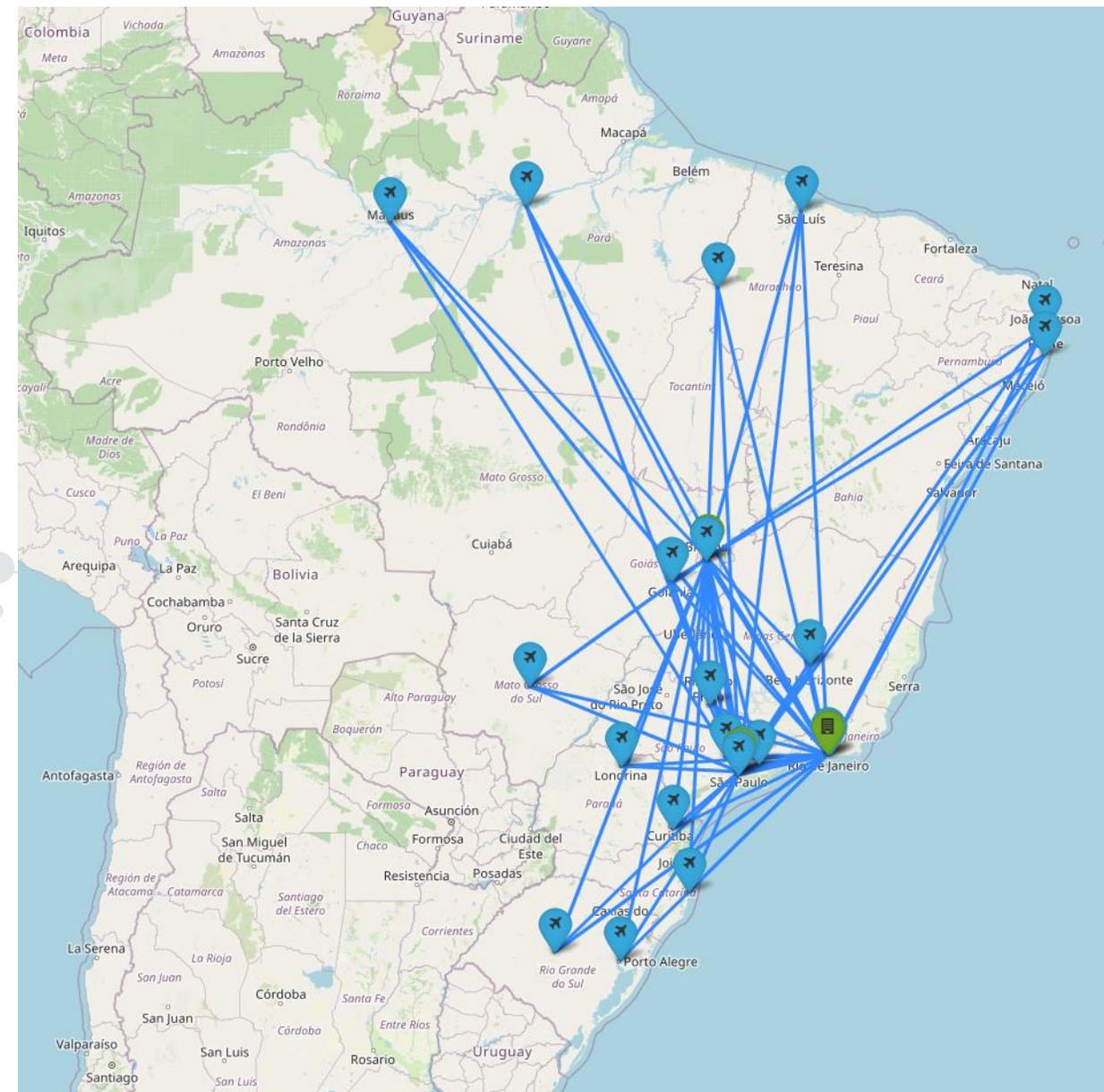
Introdução

- As atividades de transporte aéreo devem ser fiscalizadas para garantir que os níveis de segurança e procedimentos estejam ocorrendo conforme o esperado
- Agentes qualificados são alocados em missões de fiscalização para verificar se as atividades estão sendo realizadas como o esperado
- A fiscalização ocorre em todo o território brasileiro e o planejamento e alocação dos colaboradores não é uma atividade trivial

Pergunta de pesquisa

- Como realizar a alocação dos agentes em atividades de fiscalização nos aeroportos com o objetivo de minimizar o custo da operação e do transporte - respeitando as exigências das atividades, habilitações e localização de cada colaborador?

Alocação de colaboradores



Justificativa

- O estudo será aplicado em uma agência pública, Dias (2019) apresenta que existem poucas aplicações de Pesquisa Operacional no Brasil com a aplicação de ferramentas de otimização no setor público.
- Não foram encontrados artigos que abordassem sobre a alocação de colaboradores de inspeção em múltiplas origens com múltiplos destinos.
- Não foram encontrados artigos sobre a alocação de colaboradores de inspeção utilizando modelagem matemática.
- Trabalhos que encontrados do setor aéreo abordam sobre planejamento de manutenção, mas não sobre atividades de inspeção.
- Atividade com alto custo de execução e alto tempo para alocação manual

Referencial

Chaker et al. (2019) realizou um survey para avaliar quais são os aspectos relevantes que devem ser considerados na alocação de colaboradores, especificamente em atividades de inspeção. Foram identificados 5 aspectos:

- Necessidade
- Restrições
- Objetivo
- Expectativas
- Informações adicionais

Referencial

Van Den Bergh et al. (2013) apresenta uma revisão da literatura com os problemas de alocação de pessoal, apresenta artigos que levam em consideração colaboradores com skills

Kuo et al. (2014) apresentam tipos de habilitações que os colaboradores podem possuir e níveis que podem ser exigidos para as atividades

PARASKEVOPOULOS et al. (2017) associa a alocação com o problema do VRP, abordando a questão de skills

Descrição do Problema

- ANAC realiza atividades de fiscalização nos aeroportos brasileiros
- Os colaboradores estão localizados nos centros da ANAC
- Cada aeroporto pode possuir “n” atividades que podem ser fiscalizadas
- O colaborador precisa ter a habilitação “i” para realizar a atividade de fiscalização “i”
- Colaboradores, habilitações de cada colaborador, missões existentes, destinos, local atual do colaborador, custo de transporte, limitações na carga horária, equipe necessária para cada atividade, tempo das missões, tempo do deslocamento, disponibilidade dos colaboradores

Melhorias iniciais - Lingo

	Modelo Inicial	Modelo v1	Modelo v2	Redução (1->2)	Redução (2->3)
Variáveis	1.001.176	14.831	14.243	-98,52%	-3,96%
Inteiras	24.879	11.220	11.338	-54,90%	1,05%
Restrições	1.403.153	11.653	17.422	-99,17%	49,51%
Memoria (K)	428.132	8.350	8.432	-98,05%	0,98%
Melhor Objetivo	R\$ 27.830,00	R\$ 27.100,00	R\$ 27.100,00	-2,62%	-
Lower Bound	R\$ 27.100,00	R\$ 27.100,00	R\$ 27.100,00	-	-
Tempo (s)	900	53	11	-94,11%	-79,25%
GAP	2,62%	0,00%	0,00%	-100,00%	-

O modelo v2 foi implementado em Julia utilizando o JuMP

Cbc: 35 segundos para o ótimo

CPLEX e Gurobi: ~3 segundos para o ótimo

Dados utilizados

MISSAO	ATIVIDADE	DESTINO	DURACAO	EQUIPE	PESSOA	DISPONIBILIDADE	ORIGENS	DESTINOS	ORIGEM	DESTINO	CUSTO	TEMPO	PESSOA	ORIGEM	DESTINO	PESSOA	ORIGEM	MISSAO	DESTINO
1	AT688	SBIZ	0,5	2	PD1	100	DF	SBBR	DF	SBBR	0	0	PD1	X	SBBR	PD1	X	10	SBBR
2	AT688	SBKP	0,5	2	PD2	100	RJ	SBCF	DF	SBGR	295	0,5	PD1	X	SBCF	PD1	X	18	SBBR
3	AT688	SBGO	0,5	2	PD3	100	SP	SBCG	DF	SBRF	305,5	0,5	PD1	X	SBCG	PD1	X	31	SBBR
4	AT688	SBRJ	0,5	2	PD4	100	X	SBCT	DF	SBCF	337,5	0,5	PD1	X	SBCT	PD1	X	85	SBBR
5	AT688	SBSP	0,5	2	P1	20		SBEG	DF	SBLO	344	0,5	PD1	X	SBEG	PD1	X	86	SBBR
6	AT688	SBKP	0,5	2	P2	20		SBFL	DF	SBGO	375	0,5	PD1	X	SBFL	PD1	X	87	SBBR
7	AT688	SBSL	0,5	2	P4	20		SBGL	DF	SBCT	443	0,5	PD1	X	SBGL	PD1	X	88	SBBR
8	AT688	SBSM	0,5	2	P5	20		SBGO	DF	SBCG	474	0,5	PD1	X	SBGO	PD1	X	89	SBBR
9	AT688	SBFL	0,5	2	P6	20		SBGR	DF	SBRP	492	0,5	PD1	X	SBGR	PD1	X	90	SBBR
10	AT688	SBBR	0,5	2	P7	20		SBIZ	DF	SBFL	560,5	0,5	PD1	X	SBIZ	PD1	X	91	SBBR
11	AT688	SBKP	0,5	2	P8	20		SBJP	DF	SBSN	563,5	1	PD1	X	SBJP	PD1	X	92	SBBR
12	AT688	SBRP	0,5	2	P9	20		SBKP	DF	SBSL	583	1	PD1	X	SBKP	PD1	X	93	SBBR
13	AT688	SBGO	0,5	2	P10	20		SBLO	DF	SBPA	604,5	0,5	PD1	X	SBLO	PD1	X	36	SBCF
14	AT688	SBEG	0,5	2	P11	20		SBPA	DF	SBIZ	609	0,5	PD1	X	SBPA	PD1	X	39	SBCF
15	AT688	SBGO	0,5	2	P12	20		SBRF	DF	SBKP	616	0,5	PD1	X	SBRF	PD1	X	115	SBCF
16	AT688	SBSP	0,5	2	P13	20		SBRJ	DF	SBEG	636,5	0,5	PD1	X	SBRJ	PD1	X	116	SBCF
17	AT116	SBGR	5	4	P14	20		SBRP	DF	SBJP	647	0,5	PD1	X	SBRP	PD1	X	117	SBCF
18	AT117	SBBR	1	2	P15	20		SBSJ	DF	SBSJ	727	1	PD1	X	SBSJ	PD1	X	118	SBCF
19	AT118	SBKP	2	1	P16	20		SBSL	DF	SBSM	759	0,5	PD1	X	SBSL	PD1	X	107	SBCG
20	AT689	SBSP	0,5	2	P17	20		SBSM	DF	SBGL	834,5	0,5	PD1	X	SBSM	PD1	X	108	SBCG
21	AT356	SBSP	1	1	P18	20		SBSN	DF	SBSP	834,5	0,5	PD1	X	SBSN	PD1	X	109	SBCG
22	AT357	SBKP	3	2	P19	20		SBSP	DF	SBRJ	1204,5	0,5	PD1	X	SBSP	PD1	X	110	SBCG

118

155

22

88

2.905

11.338

Dados

155x2 DataFrame

Row	PESSOA String	count Int64
1	PD1	118
2	PD2	118
3	PD3	118
4	PD4	118
5	P2	118
6	P13	118
7	P18	118
8	P23	118
9	P26	118
10	P27	118
11	P31	118
12	P33	118
13	P34	118
14	P46	118
141	P81	24
142	P82	24
143	P90	24
144	P100	24
145	P107	24
146	P109	24
147	P115	24
148	P120	24
149	P127	24
150	P137	24
151	P139	24
152	P141	24
153	P148	24
154	P149	24
155	P151	24

22x2 DataFrame

Row	DESTINO String	count Int64
1	SBKP	28
2	SBGR	13
3	SBSP	12
4	SBBR	12
5	SBCG	8
6	SBCF	6
7	SBPA	6
8	SBG0	5
9	SBFL	5
10	SBCT	5
11	SBGL	4
12	SBEG	3
13	SBRJ	2
14	SBIZ	1
15	SBSL	1
16	SBSM	1
17	SBRP	1
18	SBJP	1
19	SBSJ	1
20	SBLO	1
21	SBSN	1
22	SBRF	1

23x7 DataFrame

Row	ATIVIDADE String	count Int64	DURACAO Float64	EQUIPE Int64	TEMPO Float64	DEMANDA Int64	OPFERTA Int64?
1	AT688	24	0.5	2	24.0	48	152
2	AT689	8	0.5	2	8.0	16	91
3	AT116	5	5.0	4	100.0	20	91
4	AT117	5	1.0	2	10.0	10	91
5	AT118	4	2.0	1	8.0	4	91
6	AT356	4	1.0	1	4.0	4	91
7	AT357	4	3.0	2	24.0	8	91
8	AT358	4	3.0	2	24.0	8	91
9	AT473	4	4.0	2	32.0	8	91
10	AT686	4	2.0	2	16.0	8	91
11	AT687	4	2.0	2	16.0	8	91
12	AT1	4	2.0	1	8.0	4	73
13	AT2	4	2.0	1	8.0	4	73
14	AT102	4	2.0	2	16.0	8	73
15	AT103	4	2.0	2	16.0	8	73
16	AT104	4	1.0	2	8.0	8	73
17	AT105	4	1.0	2	8.0	8	73
18	AT106	4	2.0	2	16.0	8	73
19	AT107	4	2.0	2	16.0	8	73
20	AT108	4	2.0	2	16.0	8	73
21	AT109	4	2.0	2	16.0	8	73
22	AT113	4	0.5	1	2.0	4	73
23	AT114	4	1.0	2	8.0	8	73

Modelo

```
sets:
pessoas:disponibilidade;
origens;
missao:duracao, equipe;
destinos;
arcos(origens,destinos):tempo_viagem, custo;
aloc(pessoas, origens, destinos):alocado;
auxiliar(pessoas, origens, missao, destinos);
aloc_ativ(pessoas, origens, missao):alocado_atividade;
endsets

data:
pessoas, origens, missao, destinos, arcos, tempo_viagem, aloc, aloc_ativ, disponibilidade, duracao, equipe,
    custo, auxiliar = @ole();
BigM = 1000;
enddata

Submodel Alocacao:
    min = @sum(aloc(p,o,d):2*custo(o,d)*alocado(p,o,d));

    @for(missao(m):@sum(aloc_ativ(p,o,m):alocado_atividade(p,o,m)) >= equipe(m));

    @for(pessoas(p):@sum(aloc(p,o,d):@roundup(2*tempo_viagem(o,d),0)*alocado(p,o,d)) +
        @sum(aloc_ativ(p,o,m):@roundup(duracao(m),0)*alocado_atividade(p,o,m)) <= disponibilidade(p));

    @for(auxiliar(p,o,m,d):alocado(p,o,d) >= alocado_atividade(p,o,m));

    @for(aloc(p,o,d):alocado(p,o,d)*BigM >= @sum(missao(m)|@IN(auxiliar,p,o,m,d):alocado_atividade(p,o,m)));

    @for(aloc(p,o,d):alocado(p,o,d) <= @sum(missao(m)|@IN(auxiliar,p,o,m,d):alocado_atividade(p,o,m)));

    !@for(aloc_ativ(p,o,m)|p#LE#4:alocado_atividade(p,o,m)=0);
    !@for(aloc(p,o,d)|p#LE#4:alocado(p,o,d)=0);

    @for(aloc(p,o,d):@bnd(0,alocado(p,o,d),1));
    @for(aloc_ativ(p,o,m):@bin(alocado_atividade(p,o,m)));
Endsubmodel

calc:
    @set('loopop', 1);
    @solve(Alocacao);
endcalc
```



Modelo

```
using JuMP
using CPLEX

BigM = 10000

m = Model(with_optimizer(CPLEX.Optimizer))

#set_time_limit_sec(m, 600)

@variable(m, X[ALOCADO_GERAL], binary=true)
@variable(m, Y[ALOCADO_MISSAO], binary=true)
@variable(m, REALIZA[K, P], binary=true)

@objective(m, Min, sum(2*X[i]*CUSTO_TRANSPORTE[TRANSPORTE(i.o,i.d)] for i in ALOCADO_GERAL));

@constraint(m, REALIZA_ATIVIDADE[d in K, p in P], sum(Y[j] for j in HABILITADO_MISSAO[[d, p]]) == DEM[d,5] * REALIZA[d,p]);

@constraint(m, PERIODO_ATIVIDADE[k in K], sum(REALIZA[k,p] for p in P) == 1);

@constraint(m, TEMPO_RESTRICAO[pp in PD[:,1]], sum(Y[j]*TEMPO_MISSAO[j.m] for j in ALOCADO_MISSAO if j.p == pp) +
    sum(2 * X[i] * TEMPO_TRANSPORTE[TRANSPORTE(i.o,i.d)] for i in ALOCADO_GERAL if i.p == pp) <= DISPONIBILIDADE[pp]);

@constraint(m, MAX_PERIODO[pp in PD[:,1], tt in P], sum(Y[j] for j in ALOCADO_MISSAO if (j.p == pp && j.t == tt))
    <= 1);

#@constraint(m, REALIZA_VIAGEM[g in ALOCADO_GERAL], X[g] * BigM >= sum(Y[al] for al in MISSAO_DESTINO_PESSOA[g]))

temp = unique(ALOC_ATIV[:, [1, 3, 4, 5]])

@constraint(m, REALIZA_VIAGEMa[j in eachrow(temp)], sum(X[ALOCADO(j[1], tt, j[2], j[3])]
    - Y[ALOCADO_ATIVIDADE(j[1], tt, j[2], j[3], j[4])] for tt in P if ALOCADO_ATIVIDADE(j[1], tt, j[2], j[3], j[4]) in ALOCADO_MISSAO)
    >= 0);

@time optimize!(m)
```

Resultados iniciais

- Disponibilidade de 8 períodos

- Gurobi:

7,51% GAP -> 15 segundos

5,00% GAP -> 1.561 segundos

4,45% GAP -> 1.795 segundos

2,37% GAP -> 1,980 segundos

2,13% GAP -> 3.600 segundos

(Melhor Inteiro: 30.544 ; Best Bound: 29.891,92)

- CPLEX:

7,66% GAP -> 266 segundos

7,01% GAP -> 455 segundos

6,10% GAP -> 860 segundos

5,50% GAP -> 1.465 segundos

4,99% GAP -> 2.335 segundos

4,70% GAP -> 3.600 segundos

(Melhor Inteiro: 30.544 ; Best Bound: 29.111,79)

- Lingo:

9.60% GAP -> 600 segundos (1,89% Pior que a melhor solução encontrada)

(Melhor Inteiro: 31.134 ; Best Bound: 28.142,07)

- Disponibilidade de 7 períodos

- Gurobi:

17,30% GAP -> 7 segundos

10,80% GAP -> 61 segundos

6,80% GAP -> 3.311 segundos

5,03% GAP -> 3.430 segundos

4,56% GAP -> 3.600 segundos

(Melhor Inteiro: 33.842 ; Best Bound: 32.300)

- CPLEX:

20,12% GAP -> 103 segundos

10,99% GAP -> 169 segundos

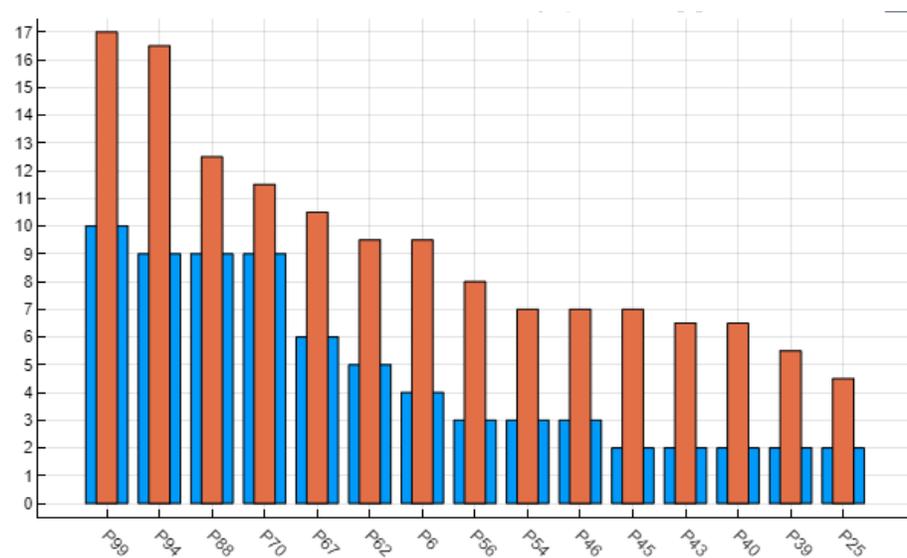
8,11% GAP -> 1.191 segundos

7,36% GAP -> 2.212 segundos

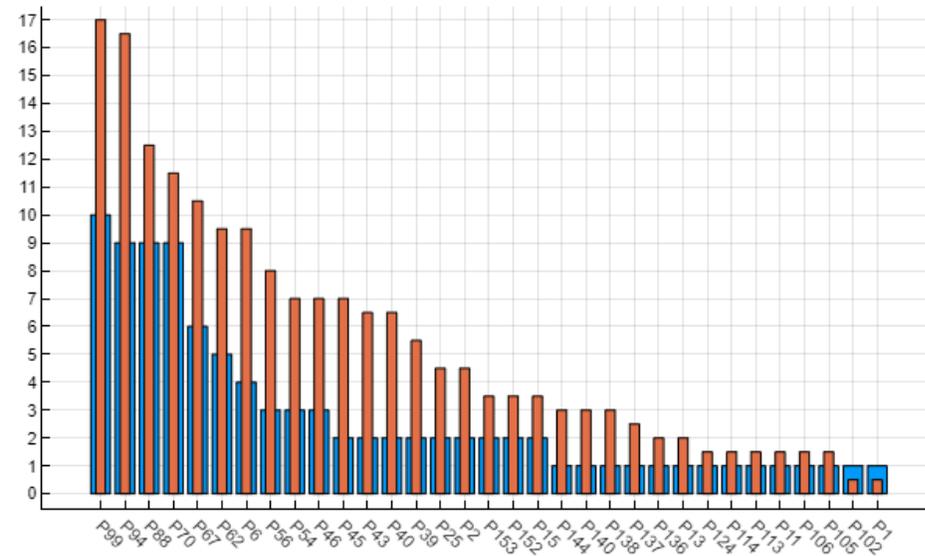
6,87% GAP -> 3.600 segundos

(Melhor Inteiro: 33.425 ; Best Bound: 31.130,35)

Resultados iniciais



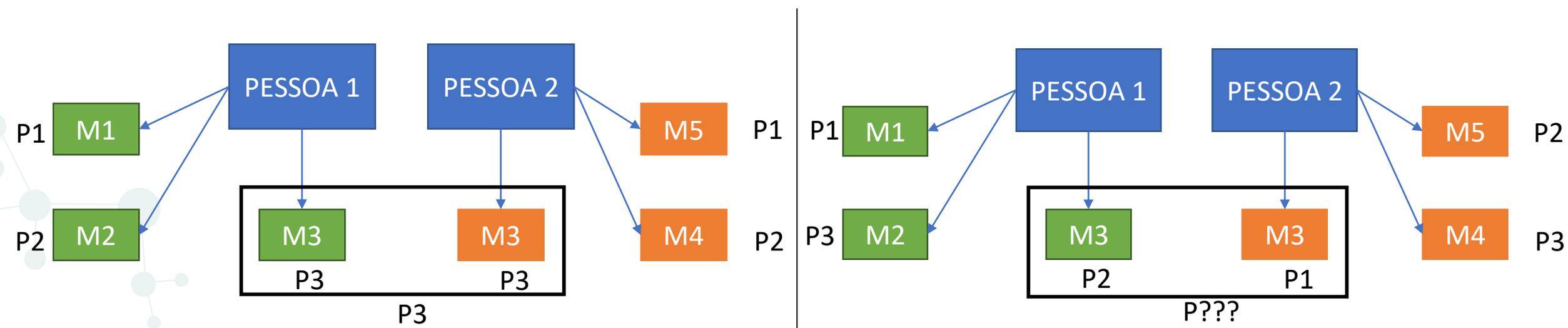
Azul: Atividades realizadas
Laranja: Total de horas utilizadas





Limitações do modelo inicial

- O modelo inicial não leva em consideração o período em que a atividade será realizada
- É desejável que exista a definição dos período em que os colaboradores estarão em deslocamento ou executando alguma atividade de fiscalização



Modelo com períodos

VOO_IDA[ALOCADO("P59", 2, "SP", "SBPA")] 1.0

MISSAO[ALOCADO_ATIVIDADE("P59", 3, "SP", "SBPA", 46)] 1.0

VOO_VOLTA[ALOCADO("P59", 6, "SBPA", "SP")] 1.0

VOO_IDA[ALOCADO("P60", 1, "RJ", "SBEG")] 1.0

MISSAO[ALOCADO_ATIVIDADE("P60", 2, "RJ", "SBEG", 47)] 1.0

MISSAO[ALOCADO_ATIVIDADE("P60", 6, "RJ", "SBEG", 14)] 1.0

MISSAO[ALOCADO_ATIVIDADE("P60", 9, "RJ", "SBEG", 29)] 1.0

VOO_VOLTA[ALOCADO("P60", 14, "SBEG", "RJ")] 1.0



Próximos passos

Redução da quantidade de variáveis

Geração de Colunas para criação das variáveis de alocação

```
18.734381 seconds (6.12 M allocations: 239.635 MiB, 0.27% gc time)
```

```
2.394745 seconds (9.29 M allocations: 331.964 MiB, 2.06% gc time)
```

Melhorias no construtivo da solução inicial



Referencial

CAMPBELL, Gerard M. A two-stage stochastic program for scheduling and allocating cross-trained workers. *Journal of the Operational Research Society*, v. 62, n. 6, p. 1038-1047, 2011.

CHAKER, Bassem; AMMAR, Mohamed Haykal; DHOUIB, Diala. A Framework for Multi-Skills Inspectors Scheduling with Client Preferences in Service Industry: Real Case. In: 2019 International Colloquium on Logistics and Supply Chain Management (LOGISTIQUA). IEEE, 2019. p. 1-6.

DIAS, Mateus Carvalho Barros. Pesquisa operacional em organizações públicas brasileiras. 2019.

GOPALAN, Ram. The aircraft maintenance base location problem. *European Journal of Operational Research*, v. 236, n. 2, p. 634-642, 2014.

KUO, Yong-Hong; LEUNG, Janny MY; YANO, Candace A. Scheduling of multi-skilled staff across multiple locations. *Production and Operations Management*, v. 23, n. 4, p. 626-644, 2014.

WAN, L.; BARD, Jonathan F. Weekly staff scheduling with workstation group restrictions. *Journal of the Operational Research Society*, v. 58, n. 8, p. 1030-1046, 2007.

Referencial

ANWAR, Zeeshan; BIBI, Nazia; AHSAN, Ali. Expertise based skill management model for effective project resource allocation under stress in software industry of Pakistan. In: 2013 6th International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering. IEEE, 2013. p. 509-513.

CUEVAS, Rodolfo et al. A mixed integer programming approach to multi-skilled workforce scheduling. *Journal of Scheduling*, v. 19, n. 1, p. 91-106, 2016.

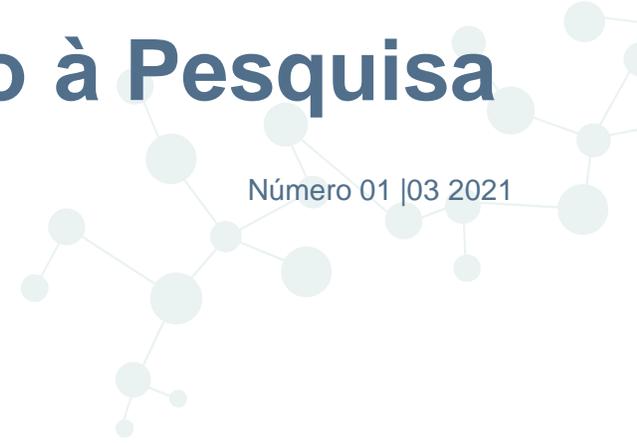
FIRAT, Murat; HURKENS, Cor AJ. An improved MIP-based approach for a multi-skill workforce scheduling problem. *Journal of Scheduling*, v. 15, n. 3, p. 363-380, 2012.

VAN DEN BERGH, Jorne et al. Personnel scheduling: A literature review. *European journal of operational research*, v. 226, n. 3, p. 367-385, 2013.

PARASKEVOPOULOS, Dimitris C. et al. Resource constrained routing and scheduling: Review and research prospects. *European Journal of Operational Research*, v. 263, n. 3, p. 737-754, 2017.

GOMAR, Jorge E.; HAAS, Carl T.; MORTON, David P. Assignment and allocation optimization of partially multiskilled workforce. *Journal of construction Engineering and Management*, v. 128, n. 2, p. 103-109, 2002.

Série dos Seminários de Acompanhamento à Pesquisa



Número 01 | 03 2021

Alocação de colaboradores qualificados em missões de fiscalização de uma agência reguladora

Autor:

Flávio Araújo Lim-Apo



CRÉDITOS:

SISTEMA MAXWELL / LAMBDA
<https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/>

Organizadores: Fernanda Baião / Soraida Aguilar

Layout da Capa: Aline Magalhães dos Santos