

## Programação da Produção de Gabaritos de Montagem com Restrições de Adjacência na Indústria Aeronáutica

Bruno Jensen Virginio da Silva  
Reinaldo Morabito  
Departamento de Engenharia de Produção  
Universidade Federal de São Carlos

Horacio Hideki Yanasse  
Laboratório Associado de Computação e Matemática Aplicada  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

**Resumo:** Esse artigo trata de um problema de programação da produção que aparece tipicamente na indústria aeronáutica, envolvendo estruturas especiais de montagem chamadas gabaritos, compostas de diversos postos de trabalho em paralelo para montar partes das aeronaves. Tarefas devem ser programadas para serem executadas nestes postos de trabalho de maneira a minimizar o *makespan*; porém, além das restrições usuais, como prazos de entrega das tarefas e precedências entre as tarefas, existem também restrições que impedem que duas tarefas possam ser executadas ao mesmo tempo em dois postos de trabalho adjacentes no gabarito. Propõe-se um modelo de programação linear inteira mista para representar o problema, com base no estudo de caso prático de programação de gabaritos de montagem de uma empresa aeronáutica. A solução gerada pelo modelo foi implementada na prática com ganhos tanto na utilização dos gabaritos de montagem estudados, quanto na utilização de mão-de-obra envolvida.

**Palavras-chave:** programação da produção, gabaritos de montagem, indústria aeronáutica.

### **Production Scheduling of Assembly Fixtures with Adjacent Constraints in the Aeronautics Industry.**

**Abstract:** This paper deals with a production scheduling problem that typically appears in the aeronautics industry, involving special structures called assembly fixtures, composed of several workstations in parallel to assemble parts of the aircrafts. Tasks should be scheduled to be performed in these workstations in order to minimize the makespan; however, in addition to the usual constraints such as due dates and precedence among tasks, there are also constraints that prevent two tasks to be performed at the same time in two adjacent workstations on the assembly fixture. A mixed integer model to represent the problem is proposed, based on practical case study of assembly fixture schedule of an aeronautic company. The solution generated by the model was implemented in practice with gains in both the use of assembly fixtures studied, as well as in the use of labor required.

**Key-words:** production scheduling, assembly fixtures, aeronautics industry.

## 1. Introdução

A indústria aeronáutica é um dos principais setores de exportação do Brasil. Em 2008, por exemplo, a principal empresa do setor foi responsável por cerca de 2% de todas as exportações brasileiras, o que representa cerca de US\$ 5 bilhões (BRASIL, 2009). A tendência continua a ser de crescente participação com o lançamento de novos produtos (EMBRAER, 2008, 2009), embora exista o ingresso de novos concorrentes diretos no mercado de aviação comercial (OTTOBONI, 2007; SUKHOI, 2007; OLMOS, 2008; BOWKER, 2009). Neste contexto, oportunidades para melhorar a competitividade da indústria aeronáutica brasileira são particularmente relevantes.

Pode-se afirmar simplificada e que a produção de aviões segue duas etapas: fabricação e montagem. Nas operações de montagem, gabaritos de montagem são comumente utilizados. O gabarito é a forma que a indústria aeronáutica utiliza para garantir as condições de projeto dos produtos montados e a sua compatibilidade com outras peças que se juntam em montagens posteriores.

Como os processos envolvidos em geral são manuais, grande quantidade dos operadores que trabalham na produção de aviões se dedica às operações de montagem em gabaritos, e o estudo da programação dessas operações é importante para a adequação da utilização da mão-de-obra, que é qualificada, especializada, intensiva e cara. Além disso, os gabaritos são específicos aos produtos neles montados; logo, a quantidade de aviões a ser produzida depende da disponibilidade e capacidade de utilização dos gabaritos de montagem.

Esse trabalho estuda um tipo de gabarito que pode montar vários produtos ao mesmo tempo em vários postos de trabalho, com a particularidade de que não se podem montar peças do subconjunto em postos de trabalho adjacentes. Essa limitação é aqui denominada de restrição de adjacência. A literatura que aborda problemas de programação de tarefas em máquinas é extensa (e.g., CONWAY et al., 1967; BAKER, 1974; COFFMAN, 1976; HAX; CANDEA, 1984; MORTON; PENTICO, 1993; NAHMIA, 2001; PINEDO, 2005, 2008; POTTS; STRUSEVICH, 2009, só para citar alguns). No entanto, estes autores encontraram poucos estudos publicados que tratam de programação da produção com restrições de adjacência similares às consideradas neste trabalho. A programação da produção com restrições de adjacência está em uma classe de problemas em que as tarefas utilizam mais de um recurso ao mesmo tempo quando são executadas, diferentemente dos problemas clássicos de programação de máquinas em que cada tarefa utiliza apenas um recurso por vez. O problema deste trabalho é estudado em maiores detalhes em Silva et al. (2010).

Neste trabalho considera-se o problema de programação da produção de montagens em gabaritos com restrições de adjacência, encontrado no processo de montagem de jatos comerciais e executivos de uma empresa aeronáutica. Apresenta-se um modelo de programação linear inteira mista para representar o problema, que foi implementado computacionalmente na linguagem de modelagem GAMS e resolvido utilizando o *software* de otimização CPLEX. Trata-se, portanto, de uma pesquisa baseada em modelagem quantitativa com abordagem de pesquisa empírico-normativa para experimentos (BERTRAND, FRANSOO, 2002; MORABITO, PUREZA, 2009), que reporta os resultados a partir da aplicação em um caso real.

Este artigo está organizado em cinco seções. Na seção 2 o problema de programação da produção de gabaritos de montagem é descrito em detalhes, contextualizando o ambiente de produção e aspectos do seu funcionamento. Na seção 3 o modelo matemático utilizado para representar o problema é proposto. Na seção 4 são apresentados e analisados os resultados computacionais do modelo matemático, utilizando o aplicativo GAMS/CPLEX. Finalmente, na seção 5 são discutidas as considerações finais deste estudo e algumas perspectivas para pesquisa futura.

## 2. Descrição do Problema

Problemas de montagem na indústria aeronáutica podem ser separados em três tipos: montagem de subconjuntos, montagem estrutural e montagem final. A montagem de *subconjuntos* nada mais é do que qualquer montagem que envolve duas ou mais peças. Montagens que envolvem poucas peças e peças pequenas costumam utilizar apenas ferramentas manuais e, em geral, não precisam de gabaritos. Os chamados grandes subconjuntos possuem uma complexidade de processo de montagem bem maior, e geralmente são compostos de várias peças, utilizam gabaritos de montagem, possuem tamanhos maiores, variando entre cerca de um e três metros, e são fornecidos diretamente para uma etapa de montagem estrutural ou montagem final. Esse é o caso do problema em questão.

A programação detalhada das montagens nos gabaritos é responsabilidade da área de produção, sendo ela a responsável por iniciar as montagens, distribuir as tarefas pelas pessoas da operação e administrar o avanço da montagem. As quantidades de subconjuntos a serem produzidas são conhecidas porque são baseadas nas cadências de produção dos aviões. Estas cadências nada mais são do que a quantidade mensal de aviões que será produzida de um modelo. Elas são conhecidas antecipadamente, e variam pouco com o tempo, já que pequenas mudanças na cadência de produção podem significar grandes mudanças na dinâmica da produção. Alguns modelos de aeronaves produzidas, que são os jatos comerciais, utilizam dois subconjuntos de peças por avião do tipo estudado neste trabalho. Assim, se a cadência de produção desses modelos for de 10 aviões por mês, a demanda dos subconjuntos será então de 20 unidades por mês.

Na figura 1 ilustra-se um exemplo de um subconjunto composto de oito *peças* (denominadas peças 1, 2, ..., 8), que após montadas e encaixadas, uma na outra, formam o subconjunto. Cada peça possui apenas um *posto de trabalho* específico no gabarito, apresentado na figura 2, para ser montada. A peça 1 do subconjunto deve ser montada no posto de trabalho 1 do gabarito, a peça 2 deve ser montada no posto de trabalho 2, e assim sucessivamente, para todas as 8 peças do subconjunto. Essas restrições são as restrições de tecnologia.

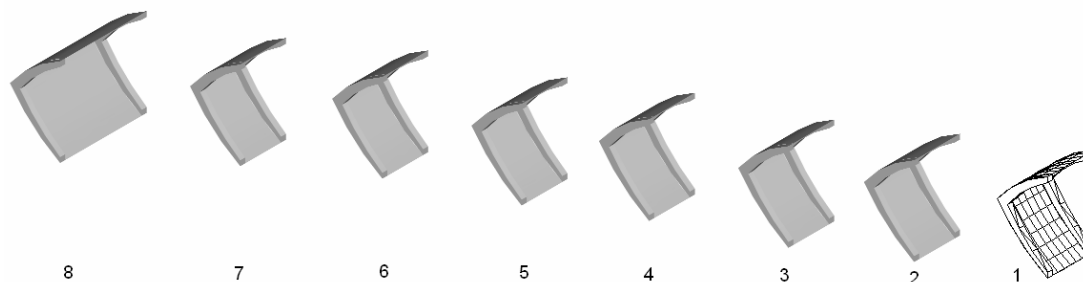


Figura 1: As oito peças que compõem o subconjunto

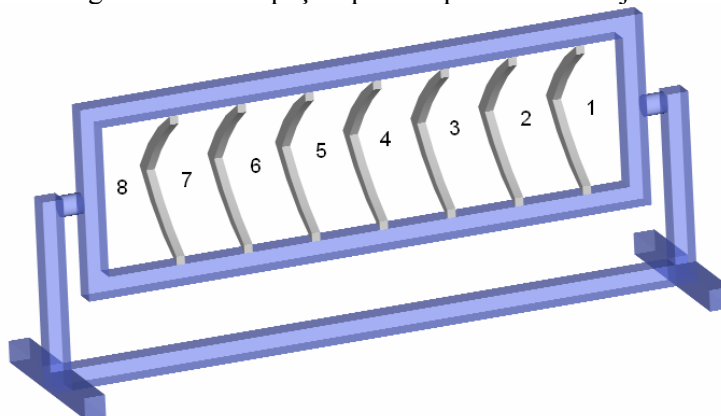


Figura 2: Gabarito de montagem do subconjunto da figura 1, com oito postos de trabalho.

As montagens das oito peças do subconjunto são realizadas individualmente. Cada peça é formada por um conjunto de componentes. A operação de montagem realizada nos postos de trabalho do gabarito consiste na montagem desses componentes que formam cada peça do subconjunto e estas são, posteriormente, encaixadas para formar este subconjunto (i.e., uma parte do avião) apenas em outra etapa de montagem na linha de produção, que não é considerada nesse trabalho. Isso significa que cada peça do subconjunto pode ser montada e entregue individualmente, mesmo fazendo parte do mesmo subconjunto do mesmo avião.

A restrição de adjacência surge porque não há espaço físico para que os operadores montem ao mesmo tempo peças do subconjunto que utilizam postos de trabalho (estações do gabarito) adjacentes. Por exemplo, se um operador está montando a peça 5 do subconjunto no posto de trabalho 5 (figuras 1 e 2), os postos de trabalho 4 e 6 ficam bloqueados fisicamente e não podem ser utilizados. Neste caso, os postos de trabalho 1, 2, 3, 7 e 8 ficam disponíveis para montar as peças do subconjunto que neles devem ser montadas.

As montagens de cada peça acontecem, em geral, em duas etapas. A primeira etapa consiste na montagem no gabarito e, em seguida, uma complementação da montagem que é realizada fora do gabarito, nas chamadas *bancadas*. A segunda etapa da montagem se inicia novamente no gabarito, terminando com uma complementação realizada nas bancadas. Isso ocorre por restrições técnicas, pois nem todos os componentes podem ser totalmente referenciados na primeira etapa do gabarito, sendo necessária uma segunda etapa para a maioria das peças. Assim, essas tarefas possuem restrições de precedência que devem ser respeitadas.

Considera-se uma *tarefa* cada par de operações, uma no gabarito e outra nas bancadas. Na figura 3 representa-se uma rede de precedência das montagens de cada peça - cada uma composta de apenas duas tarefas. Em branco são as operações executadas no gabarito e em cinza, as operações executadas nas bancadas. Os números dentro da atividade (1 a 16) identificam as tarefas associadas às montagens das peças do subconjunto e às operações de montagem no gabarito (1) ou nas bancadas (2).

Na rede da figura 3, cada peça do subconjunto necessita de duas tarefas para ser montada e cada tarefa possui duas operações. Por exemplo, a peça 1 do subconjunto necessita das tarefas 1 e 2 para ser montada. As tarefas 1 e 2 são compostas das operações 1 e 2, (i.e., 1.1 e 1.2, e 2.1 e 2.2, respectivamente).

Apesar de cada peça poder ser montada e entregue individualmente, na prática, em geral todas as peças tem a mesma data de chegada e entrega, o que não foi considerado neste estudo para não perder generalidade. As restrições de disponibilidade da peça são aquelas que definem quando a peça chega ao posto de trabalho onde serão feitas as montagens em questão. As restrições de prazos são aquelas que definem quando a montagem da respectiva peça deve estar pronta.

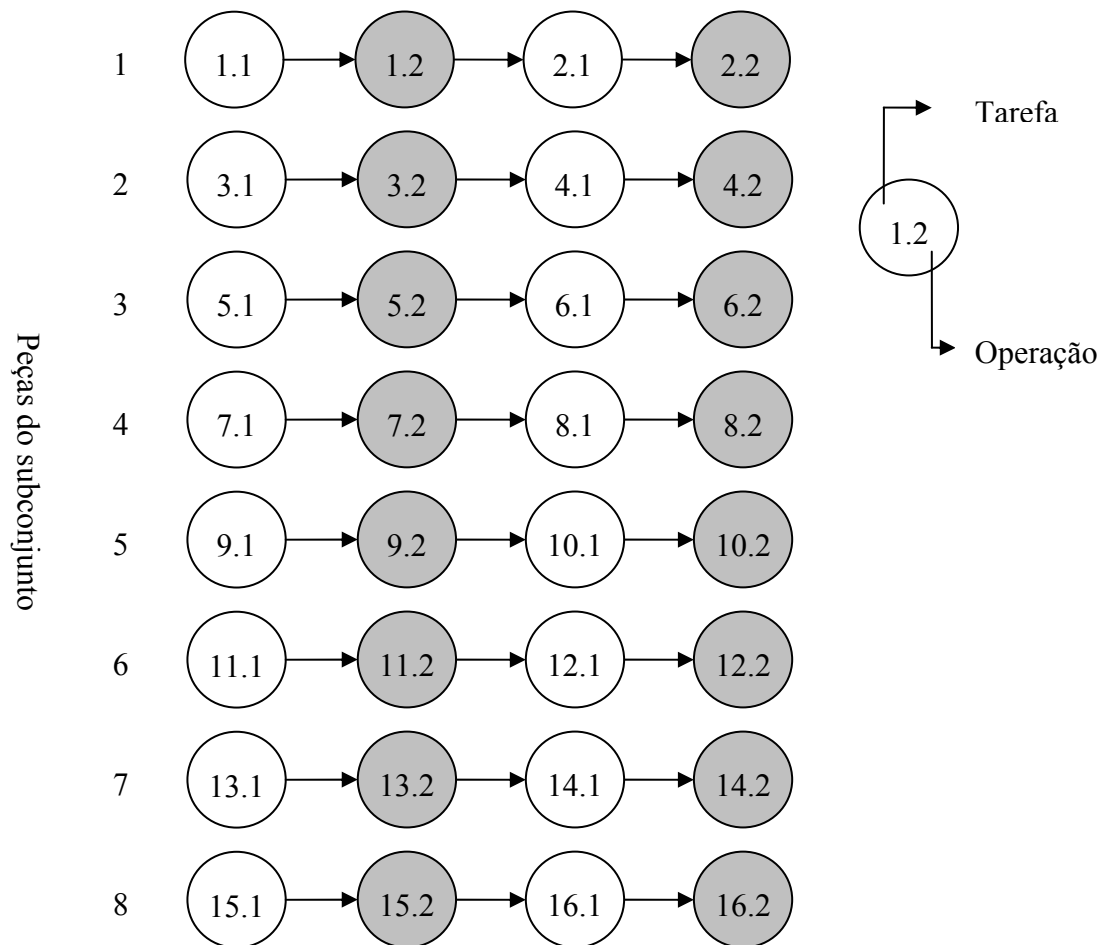


Figura 3: Rede de precedência da montagem do subconjunto

### 3. Modelagem Matemática

O problema é programar a montagem das peças de um subconjunto no gabarito, com o objetivo de minimizar o tempo total para completar as tarefas (*makespan*). Além das restrições de adjacência, tem-se datas de disponibilidade e prazos de entrega das tarefas, restrições de precedência entre as tarefas de montagem e restrições de tecnologia (i.e., o posto de trabalho do gabarito em que cada tarefa deve ser executada). A solução deste problema de programação da produção não nos parece ser imediata ou trivial.

Os modelos matemáticos de programação de *job shop* com restrições disjuntivas, que inspiraram a abordagem deste problema, são problemas NP-completos (MORTON; PENTICO, 1993). Entretanto, demonstrar a complexidade computacional do modelo proposto foge do escopo deste trabalho e é uma questão de pesquisa futura. A seguir é apresentado um modelo matemático linear inteiro misto para representar o problema. As variáveis de decisão utilizadas consideram a ordem relativa em que as tarefas são executadas, o instante de início de cada tarefa e, o instante final de execução de todas as tarefas.

Sejam os seguintes parâmetros do modelo:

- $p_j$  duração da operação no gabarito da tarefa  $j$  ( $j = 1, 2, \dots, J$ ) em que  $J$  é o número total de tarefas
- $q_j$  duração da operação nas bancadas da tarefa  $j$
- $r_j$  instante de tempo que a tarefa  $j$  fica disponível para programação
- $d_j$  prazo de entrega da tarefa  $j$

Além destes parâmetros, definem-se os seguintes conjuntos de pares de tarefas  $(j, k)$ ,  $j \neq k$ :

$W = \{(j, k) \mid \text{as tarefas } j \text{ e } k \text{ são executadas no mesmo posto de trabalho do gabarito}\}$

$A = \{(j, k) \mid \text{a execução da tarefa } j \text{ precede a execução da tarefa } k \}$

$B = \{(j, k) \mid \text{as tarefas } j \text{ e } k \text{ são montadas em postos de trabalho adjacentes no gabarito}\}$

As variáveis de decisão do modelo são:

$$y_{jk} = \begin{cases} 1 & \text{se a tarefa } j \text{ é programada antes da tarefa } k \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

$t_j$  = instante de tempo do início da tarefa  $j$

$t_F$  = o instante de término de execução de todas as tarefas, denominado *makespan*.

O problema é modelado então como se segue:

$$\text{Min } t_F \tag{1}$$

$$t_j + p_j + q_j \leq t_F \quad j = 1, \dots, J \tag{2}$$

$$t_j \geq r_j \quad j = 1, \dots, J \tag{3}$$

$$t_j + p_j + q_j \leq d_j \quad j = 1, \dots, J \tag{4}$$

$$t_k + M \cdot (1 - y_{jk}) \geq t_j + p_j \quad \text{para todo par } (j, k) \in W \tag{5}$$

$$t_j + M \cdot y_{jk} \geq t_k + p_k \quad \text{para todo par } (j, k) \in W \tag{6}$$

$$t_k \geq t_j + p_j + q_j \quad \text{para todo par } (j, k) \in A \tag{7}$$

$$t_k + M \cdot (1 - y_{jk}) \geq t_j + p_j \quad \text{para todo par } (j, k) \in B \tag{8}$$

$$t_j + M \cdot y_{jk} \geq t_k + p_k \quad \text{para todo par } (j, k) \in B \tag{9}$$

$$t_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, J, \quad y_{jk} \in \{0, 1\}, \quad j = 1, \dots, J, \quad k = 1, \dots, J, \quad j \neq k \tag{10}$$

A função objetivo junto com as restrições (2) garantem que o *makespan*  $t_F$  seja mínimo e igual ao instante de término da última tarefa programada. As restrições (3) garantem que cada tarefa  $j$  só possa ser programada após seu instante de disponibilidade  $r_j$  para produção. As restrições (4) garantem que cada tarefa  $j$  seja completada antes do seu prazo de entrega  $d_j$ . As restrições (5) e (6) garantem que duas tarefas  $j$  e  $k$  processadas no mesmo posto de trabalho do gabarito não tenham suas operações no gabarito programadas ao mesmo tempo. Note que essas restrições são definidas somente para os pares de tarefas  $j$  e  $k$  montadas no mesmo posto de trabalho. Note também que as restrições (5) e (6) são disjuntivas, ou seja, quando uma estiver ativa, a outra se torna redundante, e vice-versa (ARENALES et al., 2006). O parâmetro  $M$  é um número positivo suficientemente grande, por exemplo, definido como:  $\sum_{j=1}^J (p_j + q_j)$ .

As restrições (7) garantem a relação de precedência de execução entre duas tarefas  $j$  e  $k$ . Note que elas são definidas apenas para os pares de tarefas  $j$  e  $k$  em que a execução da tarefa  $j$  deve preceder a execução da tarefa  $k$ . As restrições (8) e (9) garantem que duas tarefas  $j$  e  $k$  que utilizam postos de trabalho adjacentes no gabarito não tenham suas execuções no gabarito programadas ao mesmo tempo. Note que essas restrições também são disjuntivas e são definidas somente para os pares de tarefas  $j$  e  $k$  montadas em postos de trabalho adjacentes. Finalmente, as restrições (10) referem-se ao domínio das variáveis.

#### 4. Resultados Computacionais

Nessa seção, são apresentados, inicialmente, os resultados da aplicação do modelo (1)-(10) em um exemplo e utilizando dados reais da empresa estudada. O modelo (1)-(10) foi implementado no *software* GAMS 23.0 (*Generic Algebraic Modeling System*) e resolvido pelo

*solver* CPLEX 11.2.0 em um computador com 8 GB MB RAM e processador intel i7 de 2.8 GHz.

Nesse exemplo, todas as tarefas possuem no máximo 4 operações de montagem (duas no gabarito e duas nas bancadas).

Tabela 1: Duração (em u.t.) das peças do subconjunto para o exemplo

Subconjunto	Peça do subconjunto	Tarefa (j)	Posto de trabalho no gabarito	Tempo no gabarito ( $p_j$ )	Tempo nas bancadas ( $q_j$ )	Tarefas precedentes
1	1	1	1	25	35	-
		2	1	20	235	1
2	1	3	1	25	35	-
		4	1	20	235	3
1	2	5	2	75	145	-
		6	2	45	355	5
2	2	7	2	75	145	-
		8	2	45	355	7
1	3	9	3	55	200	-
2	3	10	3	55	200	-
1	4	11	4	60	200	-
		12	4	30	200	11
2	4	13	4	60	200	-
		14	4	30	200	13
1	5	15	5	40	150	-
		16	5	30	200	15
2	5	17	5	40	150	-
		18	5	30	200	17
1	6	19	6	60	85	-
		20	6	30	200	19
2	6	21	6	60	85	-
		22	6	30	200	21
1	7	23	7	35	60	-
		24	7	35	150	23
2	7	25	7	35	60	-
		26	7	35	150	25
1	8	27	6	50	305	-
		28	6	60	330	27
2	8	29	7	50	305	-
		30	7	60	330	29

Na tabela 1 são apresentados os dados do exemplo. São necessárias 30 tarefas para montar as peças de dois subconjuntos inteiros. A peça 3 do subconjunto possui apenas uma tarefa (tarefas 9 e 10, uma para cada um dos dois subconjuntos). Os respectivos conjuntos  $W$ ,  $A$  e  $B$  para este exemplo estão detalhados no anexo.

O modelo para o exemplo possui 310 variáveis contínuas, 278 variáveis binárias e 667 equações, e o CPLEX demorou menos de 1 segundo para encontrar a solução. O tempo total para completar as tarefas, o *makespan*, foi de 815 u.t. As operações do gabarito terminam no tempo 615 u.t.

A figura 4 apresenta o programa de produção encontrado na solução ótima do modelo. Observe que o padrão do gráfico de Gantt para as operações de gabarito é peculiar, devido às



restrições de adjacência. Não existe no gráfico de Gantt da figura 4, operações executadas ao mesmo tempo em postos de trabalho adjacentes.

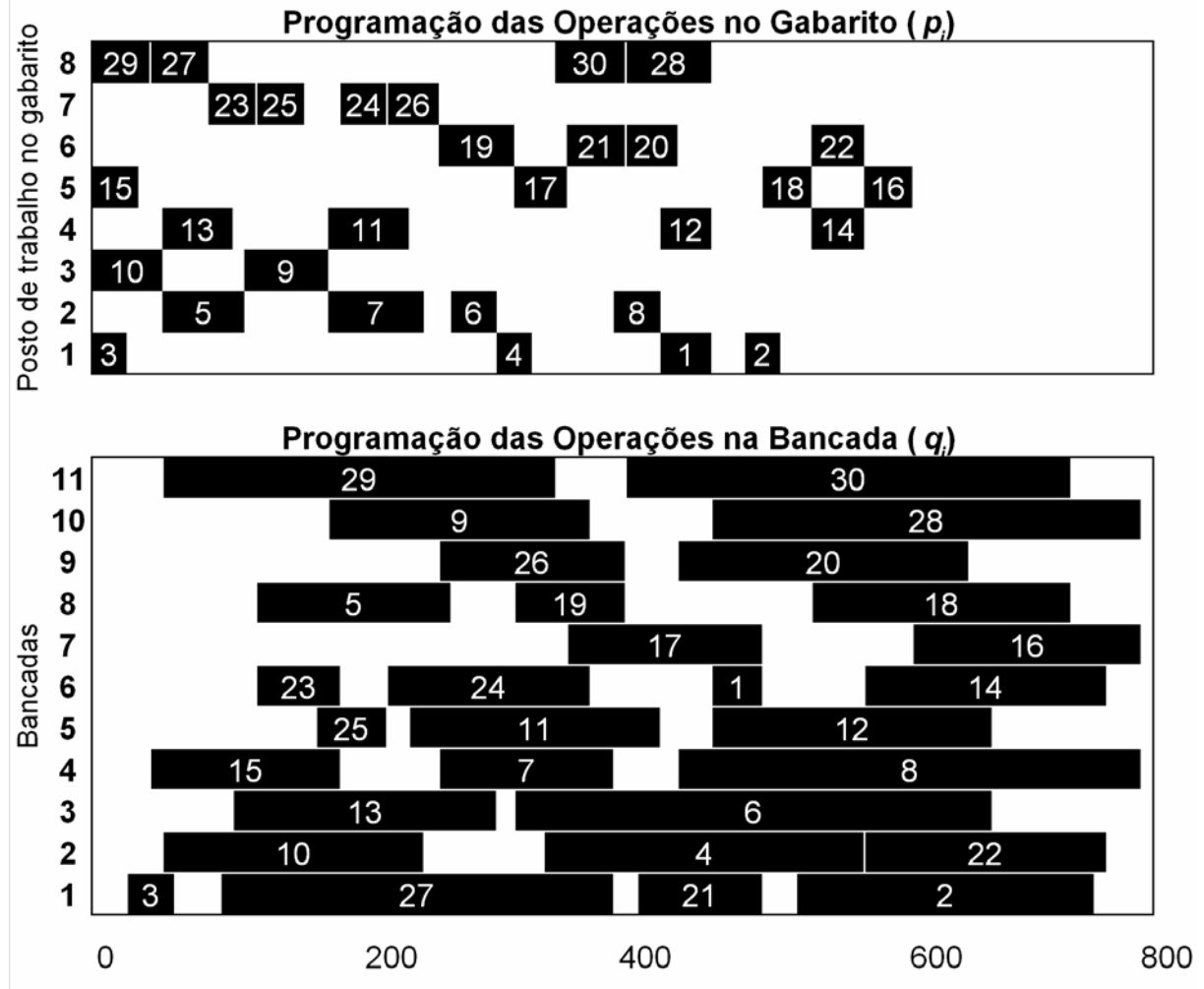


Figura 4: Gráfico de Gantt da programação das operações de gabarito e de bancadas do exemplo

Cada uma das montagens realizada nas bancadas, necessita de uma pessoa. Portanto, analisando-se o diagrama de Gantt das operações nas bancadas, pode-se contabilizar o número de pessoas necessárias nas bancadas a cada instante para efetuar a montagem (verificando o número de operações sendo realizadas em paralelo). Note que o número máximo de pessoas utilizado para as operações de bancadas na solução obtida para o exemplo foi 11.

Como o problema otimiza o *makespan* e não restringe a mão de obra, a solução obtida é a cadência máxima de produção de aviões no gabarito em questão e a respectiva quantidade de máxima de mão de obra, que eram até então desconhecidas. Para uma cadência menor ou quantidade limitada de mão de obra, é necessária outra abordagem do problema. Essa solução pode ser adaptada para cadências e quantidades de mão de obra menores, embora grandes diferenças em relação à solução obtida tornem essa adaptação trabalhosa.

### 5. Conclusões

Estes autores desconhecem outros trabalhos na literatura que focam o problema de programação da produção de gabaritos abordado nesse artigo, embora tenha implicações práticas importantes na indústria aeronáutica, conforme apresentado. O tempo computacional requerido para encontrar a solução é aceitável, considerando-se as decisões envolvidas.



O modelo proposto pode fornecer subsídios importantes ao tomador de decisão no planejamento de capacidade e recursos humanos nos gabaritos e nas bancadas, tanto nos casos de variações na cadência de produção dos aviões como para estimar a cadência máxima da unidade de produção na fábrica e suas necessidades de mão-de-obra.

Em situações em que as soluções do problema de programação envolvam necessidades de mão-de-obra excessivas nas bancadas, uma possível pesquisa futura seria estender o modelo para considerar uma restrição de limitação de mão-de-obra.

Acredita-se que, com pequenas modificações, o modelo proposto neste trabalho pode ser adaptado para representar a programação da produção de outros gabaritos de montagem desta e de outras empresas aeronáuticas.

**Agradecimentos:** Os autores agradecem à Silvia Regina Morales pela colaboração com a pesquisa. Este estudo contou com apoio financeiro da FAPESP e CNPq.

### Anexo

*W*: Conjunto das tarefas que utilizam o mesmo posto de trabalho:

$W = \{(1, 2), (1, 3), (1, 4), (2, 3), (2, 4), (3, 4), (5, 6), (5, 7), (5, 8), (6, 7), (6, 8), (7, 8), (9, 10), (11, 12), (11, 13), (11, 14), (12, 13), (12, 14), (13, 14), (15, 16), (15, 17), (15, 18), (16, 17), (16, 18), (17, 18), (19, 20), (19, 21), (19, 22), (20, 21), (20, 22), (21, 22), (23, 24), (23, 25), (23, 26), (24, 25), (24, 26), (25, 26), (27, 28), (27, 29), (27, 30), (28, 29), (28, 30), (29, 30)\}$ .

*A*: conjunto de tarefas que possuem precedência entre si.

$A = \{(1, 2), (3, 4), (5, 6), (7, 8), (9, 10), (11, 12), (13, 14), (15, 16), (17, 18), (19, 20), (21, 22), (23, 24), (25, 26), (27, 28), (29, 30)\}$ .

*B*: conjunto de tarefas que utilizam postos de trabalho adjacentes.

$B = \{(1, 5), (1, 6), (1, 7), (1, 8), (2, 5), (2, 6), (2, 7), (2, 8), (3, 5), (3, 6), (3, 7), (3, 8), (4, 5), (4, 6), (4, 7), (4, 8), (5, 9), (5, 10), (6, 9), (6, 10), (7, 9), (7, 10), (8, 9), (8, 10), (9, 11), (9, 12), (9, 13), (9, 14), (10, 11), (10, 12), (10, 13), (10, 14), (11, 15), (11, 16), (11, 17), (11, 18), (12, 15), (12, 16), (12, 17), (12, 18), (13, 15), (13, 16), (13, 17), (13, 18), (14, 15), (14, 16), (14, 17), (14, 18), (15, 19), (15, 20), (15, 21), (15, 22), (16, 19), (16, 20), (16, 21), (16, 22), (17, 19), (17, 20), (17, 21), (17, 22), (18, 19), (18, 20), (18, 21), (18, 22), (19, 23), (19, 24), (19, 25), (19, 26), (20, 23), (20, 24), (20, 25), (20, 26), (21, 23), (21, 24), (21, 25), (21, 26), (22, 23), (22, 24), (22, 25), (22, 26), (23, 27), (23, 28), (23, 29), (23, 30), (24, 27), (24, 28), (24, 29), (24, 30), (25, 27), (25, 28), (25, 29), (25, 30), (26, 27), (26, 28), (26, 29), (26, 30)\}$ .

**Referências Bibliográficas**

ARENALES, M, ARMENTANO, V. A., MORABITO NETO, R., YANASSE, H. H. **Pesquisa Operacional: Modelagem e Algoritmos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

BAKER, K. **Introduction to sequencing and scheduling**. New York: John Wiley, 1974.

BERTRAND, J. W., FRANSOO, J. C. Operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations and Production Management**. vol. 22, n.2, 2002, pág. 241-264, 2002.

BOWKER, J. **Jato Comercial da Rússia faz primeiro vôo público na Paris Air Show**. disponível em <<http://noticias.uol.com.br/ultnot/economia/2009/06/15/ult29u68101.jhtm>> Acesso em: 13 jul. 2009.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento. Secretaria de Comércio Exterior (SECEX). **Estatísticas de Comércio Exterior**. Disponível em: <<http://www.desenvolvimento.gov.br>>. 2009. Acesso em 30 de jun. 2009.

COFFMAN JR, E. G. **Computer and job shop scheduling theory**. New York: John Wiley, 1976.

CONWAY, R. W., MAXWELL, W. L., MILLER, L. W. **Theory of Scheduling**. Addison-Wesley, 1967.

EMBRAER. **Embraer executive jets programs advance**. Disponível em: <[http://www.embraer.com.br/institucional/download/2\\_068-Com-VAE-Program\\_Updates\\_EBACE-I-08.pdf](http://www.embraer.com.br/institucional/download/2_068-Com-VAE-Program_Updates_EBACE-I-08.pdf)> 2008. Acesso em 20 jul. 2009.

EMBRAER. **Programas Legacy 450 e Legacy 500 da Embraer avançam**. Disponível em: <[http://www.embraer.com.br/institucional/download/1\\_062-Prd-VAE-L450-500\\_Advance-P-09.pdf](http://www.embraer.com.br/institucional/download/1_062-Prd-VAE-L450-500_Advance-P-09.pdf)>. 2009. Acesso em 20 jul. 2009.

HAX, A., CANDEA, D. **Production Inventory Management**. New Jersey: Prentice-Hall, 1984.

MORABITO, R., PUREZA, V., “Modelagem e Simulação”, em: **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção**, P. Cauchick (ed), Editora Campus/Elsevier, Rio de Janeiro, 2009.

MORTON, T. E., PENTICO, D. W. **Heuristic Scheduling Systems**: with applications to production systems and project management. New York: John Wiley & Sons, 1993.

NAHMIAS, S. **Production and Operation Analysis**, 4th ed, Boston: McGraw-Hill, 2001.

OLMOS, M., **Presidente da Airbus planeja parceria com a Embraer**. Disponível em: <[http://www.defesanet.com.br/eads/br\\_10.htm](http://www.defesanet.com.br/eads/br_10.htm)>. 2008. Acesso em 13 jul. 2009.

OTTOBONI, J. **China endurece para comprar da Embraer**. Disponível em <<http://www.defesanet.com.br/emb1/cn.htm>>. 2007. Acesso em 13 jul.2009.

PINEDO, M. **Planning and Scheduling in Manufacturing and Services**. New York, Springer, 2005.

PINEDO, M. **Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems**. 2nd ed., New Jersey, Prentice Hall, 2008.

POTTS, C. N., STRUSEVICH, V. A. Fifty years of scheduling: a survey of milestones. **Journal of the Operational Research Society**, vol. 60, pág. 41-68, 2009.

SILVA, B. J. V., MORABITO, R., YANASSE, H. H. Programação da produção de gabaritos de montagem com restrições de adjacência na indústria aeronáutica. **Working paper**, 2010.

SUKHOI. **Komsomomolsk-on-Amur hosted the rollout of the first Sukhoi Superjet 100 ready to fly**. 2007. Disponível em : <<http://www.sukhoi.org/eng/news/company/?id=1306>>. Acesso em 13 jul. 2009.