XIV ELAVIO, El Fuerte, Sinaloa, México, 9-14 de agosto de 2009

TRABALHADORES COM DEFICIÊNCIAS EM LINHAS DE PRODUÇÃO: MODELOS, RESULTADOS E DISCUSSÕES[1]

Mayron César de O. Moreira, Lana Mara R. Santos, Alysson M. Costa
Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação
Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil
mayron@icmc.usp.br, lanamara@ufv.br, alysson@icmc.usp.br

Palavras Chave: linhas de produção, trabalhadores deficientes

Resumo: *Apenas uma pequena parcela das pessoas portadoras de deficiência em idade ativa desenvolve algum tipo de atividade produtiva. As causas deste problema são complexas e envolvem preconceito e desinformação. Neste trabalho, mostramos como métodos de otimização podem ser usados para programar linhas de produção com esta classe de trabalhadores, de modo a tornar as deficiências tão invisíveis quanto possível. Nos concentramos no caso em que o trabalhador com deficiencia é integrado a uma linha de produção convencional. Nossos resultados sugerem que a presença de trabalhadores deficientes acarreta uma perda muito pequena (ou nula) na eficiência da linha.*

1. Introdução

Na América Latina, a porcentagem de pessoas deficientes em idade ativa que participam efetivamente do mercado de trabalho é extremamente baixa. De fato, um estudo da Secretaria do Trabalho do município de São Paulo indica que apenas 10% dos trabalhadores com deficiência executavam algum tipo de atividade produtiva nesta municipalidade no ano de 2004 (SERPRO 2004).

As razões para esta triste estatística são complexas e envolvem certamente preconceito e desinformação. Barnes (1991) menciona que "assim como o racismo, o sexismo, o heterossexismo e outras formas de preconceito, a discriminação contra pessoas com deficiências é institucionalizada na própria essência da sociedade britânica". Ainda que já se tenham passado quase duas décadas desde a publicação do seu livro, o comentário de Barnes quiçá ainda possa ser usado para descrever a situação das sociedades latino-americanas. Infelizmente, é nisso que somos levados a crer quando comparamos as taxas de empregabilidade para pessoas deficientes da sociedade à qual o autor se refere (cerca de 87%, segundo a OMS) com as porcentagens mencionadas anteriormente para o caso da cidade de São Paulo. Neste contexto, acreditamos que toda ação que venha combater o preconceito contra esta parcela significativa da população mundial (mais de 600 milhões de pessoas, ainda segundo a OMS) é válida. Tal combate é a motivação principal deste trabalho.

Nós nos interessamos em particular pela participação de pessoas com deficiências em linhas de produção. Este interesse é justificado pelo fato de ser em atividades de produção que parece se concentrar a maior parte dos empregos para esta classe de trabalhadores (Simonelli et al. 2006). De fato, em estudo realizado na cidade de São Carlos, as autoras listaram a seguinte distribuição das vagas para trabalhadores deficientes: produção (88%), tarefas administrativas (6%), serviços gerais (5%) e outras exigindo nível técnico (1%).

[1] Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq - Brasil, pelo apoio outorgado a esta pesquisa através do projeto 561672/2008-3 (Edital Jovens Pesquisadores, 06/2008).

Neste trabalho, esperamos mostrar como um bom planejamento das linhas de produção pode ajudar na integração de trabalhadores com deficiências. Nos interessamos particularmente pelo caso em que estes trabalhadores participam de linhas de produção em fábricas *convencionais*, e não em centros especiais de trabalho para deficientes. De fato, a idéia deste artigo é mostrar que, com um bom planejamento da linha, a presença destes trabalhadores deficientes, em geral, implica em uma perda muito pequena (ou nula) de eficiência produtiva.

O restante deste documento está organizado da seguinte maneira: na próxima seção, apresentamos um breve resumo da literatura existente em alocação de trabalhadores com deficiências em linhas de produção. Em seguida, na Seção 3, apresentamos o modelo proposto por Miralles et. al (2007) e propomos uma nova formulação matemática para o caso em que só há um trabalhador com deficiência na linha. Na Seção 4, os resultados de testes computacionais com ambas formulações são listados e discutidos. Uma breve conclusão encerra este artigo na seção 5.

2. Breve revisão bibliográfica

Apenas recentemente, o problema de alocação de trabalhadores com deficiências em linhas de produção vem sendo estudado. Miralles et al. (2007, 2008) introduziram o problema e o nomearam Problema de Balanceamento de Linhas de Produção e Designação de Trabalhadores (ALWABP, do inglês *Assembly Line Worker Assignment and Balancing Problem*). Os autores realçam a diferença entre o ALWABP e o problema clássico de balanceamento de linhas de produção: no caso do ALWABP, cada trabalhador executa uma tarefa com uma velocidade diferente, diferentemente do caso clássico onde os trabalhadores podem ser considerados *iguais.* Os autores propõem uma formulação matemática para o problema e um estudo de caso (Miralles et al. 2007), além de um algoritmo de *branch-and-bound* (Miralles et al. 2008). Chaves et al. (2008) resolvem o mesmo problema com auxílio de uma heurística por agrupamentos (*Clustering Search*).

Extensões do ALWABP também já foram propostas na literatura. Miralles et al. (2009) consideram a situação em que as linhas de produção podem assumir a forma de *U*. Neste caso, a configuração da linha insere uma maior flexibilidade ao problema e pode acarretar em uma melhor distribuição de tarefas e trabalhadores às máquinas. Costa et al. (2008) consideram o problema de rotação de tarefas no contexto de linhas de produção em centros para trabalhadores deficientes. O artigo se baseia na idéia de que forçar os trabalhadores a executar o maior número possível de tarefas pode servir como atividade educacional e terapêutica. Os autores mencionam que o fim último dos centros para trabalhadores deficientes é preparar o trabalhador para o mercado convencional de trabalho e, por esse motivo, a rotação de tarefas assume uma importância fundamental.

Assim como o trabalho de Costa et al. (2008), todos os artigos mencionados consideram o caso em que há apenas trabalhadores deficientes na linha de produção. Neste trabalho, nos interessamos pela situação em que há apenas um trabalhador com deficiências na linha, ou seja, o caso que ocorre quando, em uma fábrica *convencional*, um trabalhador com deficiências é empregado. Acreditamos que o estudo desta situação é particularmente importante quando se imagina que o objetivo último desta área de pesquisa é integrar o trabalhador deficiente a linhas de produção convencionais de maneira transparente.

3. Modelo matemático

Um modelo matemático linear inteiro misto para o problema foi proposto por Miralles et al. (2007). Uma versão adaptada deste modelo é reproduzida na sequência, após a definição da notação utilizada.

Notação:

N conjunto das tarefas;
W conjunto dos trabalhadores;

S conjunto das estações de trabalho;
C tempo de ciclo;
p_{wi} tempo de processamento da tarefa *i* quando executada pelo trabalhador *w*;
D_j conjunto de tarefas que devem ser realizadas imediatamente antes que a tarefa *j*.
x_{swi} variável binária. Igual a *1* se a tarefa *i* é executada pelo trabalhador *w* na máquina *s*, e igual a *0* caso contrário;
y_{sw} variável binária. Igual a *1* se o trabalhador *w* é alocado na máquina *s*, e igual a *0*, caso contrário.

Formulação (Miralles et al., 2007):

$$Min\ C \tag{1}$$

sujeito a

$$\sum_{w\in W}\sum_{s\in S} x_{swi} = 1, \qquad \forall i \in N, \tag{2}$$

$$\sum_{s\in S} y_{sw} \leq 1 \qquad \forall w \in W, \tag{3}$$

$$\sum_{w\in W} y_{sw} \leq 1 \qquad \forall s \in S, \tag{4}$$

$$\sum_{w\in W}\sum_{s\in S} s \cdot x_{swi} \leq \sum_{w\in W}\sum_{s\in S} s \cdot x_{swj} \qquad \forall j \in N, i \in D_j, \tag{5}$$

$$\sum_{i\in N} p_{wi} \cdot x_{swi} \leq C \qquad \forall w \in W, \forall s \in S, \tag{6}$$

$$x_{swi} \leq y_{sw} \qquad \forall w \in W, \forall s \in S, \tag{7}$$

$$y_{sw} \in \{0,1\} \quad \forall s \in S, \forall w \in W, \tag{8}$$

$$x_{swi} \in \{0,1\} \quad \forall s \in S, \forall w \in W, \forall i \in N. \tag{9}$$

O objetivo da formulação (1)-(9) é a minimização do tempo de ciclo, i.e., o maior dos tempos gastos em uma máquina. As restrições (2) garantem que cada tarefa é executada, enquanto (3) e (4) asseguram que cada trabalhador é alocado a uma única máquina e que cada máquina recebe um único trabalhador, respectivamente. As restrições (5) garantem que as precedências de execução entre as tarefas são respeitadas. Finalmente, as restrições (6) asseguram que a variável *C* realmente representa o tempo de ciclo e (7) garantem que uma tarefa só é executada por um trabalhador *w* em uma máquina *s* caso este trabalhador realmente esteja alocado a esta máquina. Estas últimas restrições são uma versão desagregada das restrições propostas por Miralles et al. (2007).

A formulação (1)-(9) foi desenvolvida para o caso de centro de trabalhadores para deficientes. Obviamente, ela pode ser utilizada para o caso proposto neste artigo, em que só há um trabalhador com deficiência na linha. Para isso, basta utilizar-se parâmetros p_{wi} apropriados. Note, entretanto, que a formulação se torna redundante em muitos aspectos. De fato, |W|-1 trabalhadores (todos, a exceção do trabalhador com deficiência) possuem tempos de execução de tarefas iguais e, portanto, soluções equivalentes podem ser obtidas trocando-se a posição de dois ou mais destes trabalhadores. Com o fim de eliminar estas simetrias, propomos, neste trabalho, uma formulação específica para o caso em que apenas um trabalhador com deficiência é alocado na linha de produção. Esta formulação é apresentada na sequência, após a definição da notação adicional utilizada:

Notação adicional:

t_i tempo que um trabalhador sem deficiência demora para executar a tarefa *i*.
a_i tempo adicional que o trabalhador com deficiência demora para executar a tarefa *i*.
M valor suficientemente grande;

y_s variável binária. Igual a *1* se o trabalhador com deficiências é alocado à máquina *s*, e igual a *0* caso contrário;

x_{si} variável binária. Igual a *1* se a tarefa *i* é alocada à máquina *s*, e igual a *0* caso contrário;

Formulação Proposta:

$$Min\ C \tag{10}$$

sujeito a

$$\sum_{s\in S} x_{si} = 1, \qquad \forall i \in N, \tag{11}$$

$$\sum_{s\in S} y_s = 1, \tag{12}$$

$$\sum_{s\in S} s \cdot x_{si} \le \sum_{s\in S} s \cdot x_{sj} \qquad \forall j \in N, i \in D_j, \tag{13}$$

$$\sum_{i\in N} t_i \cdot x_{si} \le C \qquad \forall s \in S, \tag{14}$$

$$\sum_{i\in N} (t_i + a_i) \cdot x_{si} \le C + M(1 - y_s) \qquad \forall s \in S, \tag{15}$$

$$y_s \in \{0,1\} \quad \forall s \in S, \tag{16}$$

$$x_{si} \in \{0,1\} \quad \forall s \in S, \forall i \in N. \tag{17}$$

Nesta formulação ainda minimiza-se o tempo de ciclo. As restrições (11) garantem que todas as tarefas são executadas enquanto (12) asseguram que o trabalhador com deficiência é alocado a uma das máquinas. As restrições (13) garantem que a solução respeita as precedências de execução de tarefas. O tempo de ciclo é determinado pelas restrições (14) e (15). Todas as máquinas respeitam o tempo de ciclo quando se considera que as tarefas são executadas por um trabalhador sem deficiências, conforme determinado por (14). Além disso, para a máquina onde o trabalhador com deficiências é alocado, o tempo de ciclo deve ser respeitado considerando-se os tempos de execução de tarefas quando realizadas por este trabalhador. O parâmetro *M* deve ser um valor suficientemente grande para tornar as restrições (15) redundantes para todo *s* tal que y_s é diferente de 1. Pode-se utilizar, por exemplo, $M = \sum_{i\in N} a_i$

4. Resultados computacionais preliminares

Nesta seção, apresentamos brevemente alguns resultados computacionais para os modelos discutidos anteriormente. Por um lado, nos interesamos pela influência da presença do trabalhador deficiente na linha de produção e, por outro, na eficiência da nova formulação proposta. Testes computacionais foram executados utilizando-se instâncias disponíveis na literatura (Chaves et al. 2007). Estas instâncias consideram o caso de centros de trabalhadores deficientes e foram modificadas para a situação em que apenas um trabalhador apresenta deficiências (os outros executam cada tarefa no menor dos tempos disponíveis). A Tabela 1 compila os resultados obtidos. Os testes foram executados em um processador com 2.33 GHz, 4 GB de memória RAM e os modelos foram resolvidos usando-se o pacote comercial CPLEX 11.2.

Os resultados preliminares mostram não apenas que a inclusão de um trabalhador deficiente afetou muito pouco a qualidade da solução (menos de 1.5%, em média, de perda na eficiência da linha), mas também que a formulação proposta consegue resolver o caso em que há apenas um trabalhador deficiente de maneira bem mais eficiente que a formulação geral de Miralles et al. (2007). De fato, os tempos computacionais foram drasticamente reduzidos, em média, por três ordens de grandeza. Tais resultados justificam e motivam a continuidade desta linha de pesquisa.

Tabela 1: Resultados computacionais

Grupo (# Trab)	Solução sem trab. deficientes	Solução com trab. deficientes		Tempo (s) modelo (1)-(9)	Tempo (s) modelo (10)-(17)
Heskia 1 (4)	76.20	78.13	(+2.53%)	6.99	0.06
Heskia 2 (4)	88.10	90.45	(+2.60%)	4.73	0.08
Heskia 3 (4)	132.10	135.35	(+2.40%)	5.59	0.12
Heskia 4 (4)	133.40	136.40	(+2.20%)	5.18	0.09
Heskia 5 (7)	26.20	26.47	(+1.03%)	1517.21	1.65
Heskia 6 (7)	32.20	32.41	(+0.66%)	687.97	0.10
Heskia 7 (7)	65.20	65.29	(+0.13%)	509.18	0.19
Heskia 8 (7)	55.00	55.23	(+0.41%)	541.99	0.46
Média			**+1.49%**	**409.86**	**0.34**

5. Conclusões

Neste trabalho, apresentamos uma nova formulação matemática para o problema de balanceamento de linhas de produção na presença de apenas um trabalhador com deficiências. Esta formulação apresentou resultados muito bons para este caso particular, sendo resolvida com a ajuda de um pacote comercial (CPLEX 11.2) em uma pequena fração do tempo necessário para a resolução da formulação original. Neste trabalho, também analisamos a influência da presença do trabalhador deficiente na eficiência produtiva da linha. Nossos resultados sugerem que um bom planejamento da alocação de tarefas pode tornar praticamente invisíveis as deficiências do trabalhador, no sentido de que a eficiência da linha é pouco (ou nada) modificada em comparação ao caso sem trabalhadores deficientes. Esperamos que tais resultados possam contribuir para a diminuição do preconceito e desinformação no tocante a esta questão e contribuir para aumentar a participação do deficiente no mercado de trabalho.

Referências

Barnes, C. (1991). *Disabled People in Britain and Discrimination*, C. Hurst & Co. Publishers.

Chaves, A. A., Miralles, C. & Lorena, L. A. N. (2007). Clustering search approach for the assembly line worker assignment and balancing problem, *Proceedings of the 37th International Conference on Computers and Industrial Engineering*, Alexandria, Egypt, pp. 1469 –1478.

Costa, A. M. & Miralles, C. (2008). Rotação de tarefas em linhas de produção com trabalhadores deficientes, *Anais do XL SBPO*, João Pessoa.

Miralles, C., Andres, C. & Garcia-Sabater, J. P. (2009). Application of U-lines principles to the assembly line worker assignment and balancing problem, *European Journal of Operational Research (forthcoming)* .

Miralles, C., Garcia-Sabater, J. P., Andres, C. & Cardos, M. (2007). Advantages of assembly lines in sheltered work centres for disabled. A case study, *International Journal of Production Economics* **110**: 187–197.

Miralles, C., Garcia-Sabater, J. P., Andrés, C. & Cardos, M. (2008). Branch and bound procedures for solving the assembly line worker assignment and balancing problem: Application to sheltered work centres for disabled, *Discrete Applied Mathematics* **156**: 352–367.

SERPRO (2004). http://www.serpro.gov.br/noticias-antigas/noticias-2004/20041221_02 (Consultado em 23 de Março de 2009).

Simonelli, A. P., da Silva Rodrigues, D. & Soares, L. (2006). Caracterização do perfil de trabalhadores afastados e de pessoas com deficiência no mercado de trabalho do municipio de são carlos., *Anais das XIV Jornadas de Jovens pesquisadores da Associação de Universidades do Grupo Montevidéu*.

Steuer, R. E. (1986) *Multiple Criteria Optimization: theory, computation and application*, New York: Wiley.