

Problema de Programação em Sistemas Flowshop Permutacional: uma Contribuição Bibliométrica

Kellen Dayelle Endler (Universidade Federal do Paraná) kellen_dayelle@hotmail.com

Maria Teresinha Arns Steiner (Universidade Federal do Paraná) tere@mat.ufpr.br

Cassius Tadeu Scarpin (Universidade Federal do Paraná) cassiusts@yahoo.com.br

Bruno Henrique da Silva (Universidade Federal do Paraná) nildis@msn.com

Resumo:

A evolução das investigações nas diversas áreas de aplicação da Pesquisa Operacional pode ser impulsionada pela organização de dados da produção científica até o momento. O objetivo desse estudo consiste em analisar quantitativamente o que se produziu em relação ao problema de Programação em Sistemas de Produção *Flowshop* Permutacional. Tratou-se de um estudo de análise bibliométrica, através de dados da base *ISI Web of Knowledge* e seu tratamento pelos softwares Sitkis® e Ucinet®. Para a pesquisa utilizou-se as seguintes expressões-chave: “*scheduling*” ou “sequenciamento”, e “*Flow shop permutational*” ou “*permutation flow shop*”, gerando uma amostra constituída por 276 artigos. Ao final do estudo, apresentou-se resultados de estatística descritiva com a identificação dos autores, artigos e periódicos mais referenciados por estudiosos em todo o mundo. Além das principais redes de relacionamento de autores, citações e palavras-chaves. Tem-se neste trabalho, portanto, um importante aliado no desenvolvimento de novas abordagens sobre o tema.

Palavras chave: Programação da Produção, Flowshop Permutacional, Análise Bibliométrica.

Permutation Flowshop Scheduling Problem: a Bibliometric Contribution

Abstract

The progress of investigations in the different application areas of Operational Research can be propelled by data organization of scientific literature to date. The main objective of this study, therefore, is quantitatively analyze what was produced in relation to the programming problem in Production Systems flowshop permutation. This was a study of bibliometric analysis, using data from the database ISI Web of Knowledge and its treatment by Sitkis® and Ucinet® software. For the research we used the following key terms: “*scheduling*” or “sequencing” and “*Flow shop permutational*” or “*permutation flow shop*”, generating a sample of 276 articles. At the end of the study were presented descriptive statistics results with the identification of the authors, articles and journals most referenced by researchers worldwide. Besides the main social networks of authors, citations and keywords. This work, therefore, becomes an important ally in the development of new approaches to the subject.

Key-words: Production scheduling, Permutation flow shop, Bibliometric.

1. Introdução

Problemas de Produção são problemas clássicos de otimização discreta da Pesquisa Operacional. Problemas na área de produção em geral, são decompostos hierarquicamente em

tres níveis: estratégico, tático e operacional. Especificamente, no nível operacional, as principais decisões envolvidas são: Designação de tarefas a máquinas e Programação (*Scheduling*) das tarefas em cada máquina, isto é, a sequência de processamento das tarefas e o instante de início e término do processamento de cada tarefa (ARENALES, 2007).

Problemas de Programação da Produção (PPP) são tradicionalmente classificados de acordo com os sistemas de produção e por tipo de posicionamento do processo de produção onde ocorrem (BOIKO; MORAIS, 2009). Gigante (2010) os classifica em: *Flow shop*; *Jobshop*; *Openshop*; *Flow shop* permutacional; Máquina única; Máquinas paralelas; *Jobshop* com máquinas múltiplas; e *Flow shop* com máquinas múltiplas.

O presente trabalho trata especificamente do problema de programação de operações em ambiente *Flow shop*, que consiste em um assunto relevante para o dinâmico ambiente de produção atual. Para muitas situações, assume-se a premissa de que a ordem de processamento de tarefas é a mesma em todas as máquinas, tratando-se do caso específico do *Flow shop* permutacional (FSP), com $n!$ possíveis programações para n tarefas, foco desta pesquisa.

É fato que a programação da produção tem sido objeto de estudo altamente explorado pelas comunidades acadêmicas nas últimas décadas. Trata-se de uma das áreas com mais publicações em conferências e revistas especializadas. Todavia, trata-se também de uma das áreas onde há uma enorme distância entre a teoria e o que se consegue aplicar na prática. Apesar de ser considerada relativamente simples em termos de formulação e visualização do que é requerido, esta classe de problemas é por natureza muito complexa e de difícil resolução, em termos de obtenção da solução ótima (KAZAMA, 2011).

Tal constatação implica dizer que os PPP do cotidiano das empresas, por se tratar de problemas complexos, devem se basear em abordagens de soluções aproximadas, em detrimento de soluções exatas, obtidas com métodos heurísticos e meta-heurísticos, por exemplo. Com a evolução da capacidade computacional, cada vez mais, surgem métodos capazes de fornecer boas soluções, visto que apresentam melhor *trade-off* entre a qualidade da solução e o custo computacional.

O avanço científico nesse campo de estudo, portanto, deriva fundamentalmente do conhecimento disponível, fruto de interações entre pesquisadores ao longo do tempo. Conhecer a evolução dos métodos de solução, os principais estudiosos e a produção acadêmica de maior relevância pode colaborar significativamente para a melhor compreensão da teoria existente e identificação de tendências, lacunas e problemas que ainda não foram solucionados.

A partir dessa perspectiva, o objetivo da pesquisa é analisar a produção científica sobre PPP em Sistemas de Produção FSP de maneira quantitativa. A abordagem metodológica utilizada é de revisão sistemática da literatura, tendo como base a teoria bibliométrica e análise de redes.

Este artigo está estruturado em seis partes. Uma revisão bibliográfica que discute os principais conceitos (seção 2); Descrição do método de seleção da amostra de artigos e as técnicas de análise (seção 3); Resultados encontrados (seção 4); e, por fim, Considerações Finais, Limitações do trabalho e Sugestões para futuras pesquisas (seção 5).

2. Revisão Bibliográfica

A presente seção apresenta de forma abrangente o problema de programação da produção, seguido de sua aplicação ao *Flowshop* permutacional e, finalmente, de seus métodos de solução.

2.1 O Problema de Programação aplicado à FSP

Do ponto de vista da Pesquisa Operacional, caracterizada por fornecer um ferramental matemático para a tomada de decisão, um Problema de Programação da Produção pode ser definido como “um problema de n tarefas $\{J_1, J_2, \dots, J_j, \dots, J_n\}$ que devem ser processadas em m máquinas $\{M_1, M_2, \dots, M_k, \dots, M_m\}$ ” (TAILLARD, 1993).

O problema de programação *Flow Shop* é aquele no qual n tarefas devem ser processadas, na mesma sequência, em um conjunto de m máquinas distintas. Um caso específico de programação *Flow Shop*, denominado permutacional, é quando em cada máquina mantém-se a mesma ordem de processamento das tarefas. O objetivo é encontrar uma sequência, entre as $n!$ possíveis, para o processamento das tarefas nas máquinas, de modo que alguma medida de desempenho previamente estabelecida seja otimizada (MOCCELLIN; NAGANO, 2007).

Os tempos de processamento necessários para as tarefas i serem realizadas nas máquinas j são representados por t_{ij} , onde $i = 1, \dots, n$, e $j = 1, \dots, m$. Os tempos de processamento são fixos, conhecidos previamente e não negativos. Baker (1974) lista várias premissas que são comumente feitas sobre esse problema:

- Cada tarefa i pode ser processada no máximo em uma máquina j por vez;
- Cada máquina j pode processar apenas uma tarefa i por vez;
- Após o início da operação, não são permitidas as interrupções;
- Cada operação tem no máximo uma precedente e uma sucessora, isto é, possuem fluxo unidirecional;
- Os tempos de *setup* são insignificantes e portanto podem ser ignorados;
- As máquinas estão continuamente disponíveis;
- Estoque em processo é permitido, entre outros.

Os PPP são de natureza combinatorial e enquadra-se na classe *NP-hard* (GAREY; JOHNSON; SETHI, 1979). Os métodos de solução dos PPP encontrados na literatura, segundo MacCarthy e Liu (1993), podem ser categorizados em:

- (1) Métodos ótimos (ou exatos): geram a melhor programação possível de acordo com o critério de desempenho adotado; e
- (2) Métodos heurísticos: geram uma programação de boa qualidade sem garantia de otimalidade em um tempo computacional aceitável.

Glover e Kochenberger (2003) incluem a esta classificação:

- (3) Meta-heurísticas: procedimentos que coordenam estratégias de busca local de nível mais elevado, criando um processo para evitar mínimos locais, efetuando uma busca da solução mais robusta para um problema.

Boschetti *et al.* (2009) mais recentemente, ressaltam a utilização de:

- (4) Métodos híbridos ou matheurísticas: algoritmos desenvolvidos por meio da interoperação de meta-heurísticas e técnicas de programação matemática. Esses métodos relacionados exclusivamente ao problema de programação *Flow Shop* serão tratados a seguir.

2.1 Métodos para solução do problema de programação *Flow Shop*

Desde a década de 1960, um extenso esforço de pesquisa tem sido dedicado ao problema de programação *Flow shop*. No início, as pesquisas sobre *Flow shop* eram extremamente teóricas. Pesquisadores consideravam abordagens como, por exemplo, a de Programação Linear Inteira

(MANNE, 1960), (SELEN; HOTT, 1986). Soluções *Branch and Bound* (LOMNICKI, 1965), (IGNAL; SCHRAGE, 1965), foram desenvolvidas para obter soluções ótimas do problema. Entretanto, tais técnicas não são eficientes em termos computacionais, em problemas de médio e grande porte. Assim, métodos heurísticos têm sido propostos, os quais, são classificados em dois grupos: métodos construtivos e melhorativos.

Os métodos heurísticos construtivos consistem em construir a solução de um problema a partir do zero, de forma incremental, a qual é adotada como solução final do problema (PALMER, 1965), (CAMPBELL; DUDEK; SMITH, 1970), (DANNENBRING, 1977), (NAWAZ; ENSCORE; HAM, 1983), (KALCZYNSKI; KAMBUROWSKI, 2008), (RAD; RUIZ; BOROOJERDIAN, 2009).

Heurísticas melhorativas partem de uma solução factível e procuram uma solução melhor dentro de uma vizinhança, definida geralmente por meio de permutações de posições das tarefas na sequência. Uma heurística clássica melhorativa pára quando não existe nenhum vizinho melhor que a solução corrente (ótimo local). Nesta categoria, destaca-se o trabalho de Dannenbring (1977).

Mais recentemente, foram desenvolvidos métodos de busca em vizinhança de maior complexidade, como o Busca Tabu e o *Simulated Annealing* que têm sido alvo de grande interesse na comunidade científica em função de aplicações bem sucedidas reportadas na literatura. Exemplos de aplicações dessas técnicas para o problema FSP são: (OSMAN; POTTS, 1989), (TAILLARD, 1990), (MOCCELLIN, 1995), (ZEGORDI; ITOH; ENKAWA, 1995), (NOWICKI; SMUTNICKI, 1996), (PARK; KIM, 1998), (MOCCELLIN; NAGANO, 1998), (WODECKI; BOŹZEJKO, 2002), (GRABOWSKI; WODECKI, 2004), (LAHA; CHAKRABORTY, 2009), (REN *et al.*, 2011), (GAO; CHEN; DENG, 2013), (BARGAOUI; DRISS, 2014), (XIE *et al.*, 2014).

Uma tendência de pesquisa de grande relevância refere-se ao desenvolvimento de métodos meta-heurísticos híbridos utilizando Busca Tabu, *Simulated Annealing* e Algoritmo Genético, visando combinar essas técnicas, preservando suas características de ação “inteligente”, de forma que o procedimento resultante seja mais eficaz do que seus componentes isoladamente. Trabalhos recentes podem ser citados: (GAO; CHEN; DENG, 2013), (XU *et al.*, 2014), (MIRABI, 2014).

3. Metodologia

A bibliometria é definida como “a técnica de investigação que tem por fim a análise do tamanho, crescimento e distribuição da bibliografia num determinado campo do conhecimento”. (PILKINGTON; MEREDITH, 2009). Salienta-se que a bibliometria desenvolveu-se mediante a elaboração de leis empíricas sobre o comportamento da literatura (ARAÚJO, 2006). Nesse cenário, é importante citar as três leis básicas da bibliometria, para o melhor entendimento dos dados: Lei de Zipf que mensura a frequência de ocorrência de palavras; Lei de Lotka que trata da produtividades de autores; e Lei de Bradford, referente a produtividade de periódicos (BUFREM; PRATES, 2005).

Para o desenvolvimento da presente pesquisa estabeleceram-se quatro etapas:

- 1 - Constituição da fundamentação teórica da pesquisa – revisão de literatura sobre o Problema da Programação FSP (Seção 2) e Bibliometria (Seção 3.1);
- 2 - Definição da amostra na base de dados do *ISI Web of Knowledge* (Seção 3.2);
- 3 - Organização e tratamento bibliométrico dos registros coletados (Seção 3.3); e
- 4 - Análise e interpretação de resultados (Seção 4).

3.2 Definição da Amostra

A amostra de artigos sobre problema de programação *Flow shop* foi definida a partir da escolha da base de dados, da identificação das palavras-chave, da seleção das áreas de pesquisas e da determinação dos anos de publicação, conforme ilustrado no fluxograma da Figura 1.

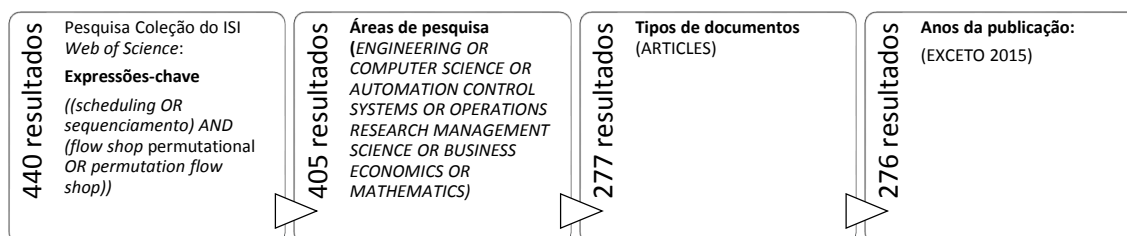


Figura 1 - Fluxograma do processo de definição da amostra

Quanto à determinação da base de dados, optou-se por utilizar a plataforma *ISI Web of Knowledge*, por incluir revistas com fator de impacto calculado no JCR (*Journal Citation Report*), além de fornecer um conjunto relevante de informações para a análise bibliométrica. O tratamento dos dados seguiu com o intuito de eliminar tipos de fontes que não correspondessem às áreas de pesquisa não relacionadas. Resultaram do esforço descrito 405 artigos.

Quanto à determinação do tipo de publicação – livros, patentes, artigos, anais de congressos, etc. – optou-se por considerar apenas os artigos. Entende-se que a escolha é válida, pois artigos acadêmicos geralmente antecedem livros consagrados e são considerados fontes seguras para pesquisas por apresentar rigor metodológico para publicação.

A composição da amostra, então, foi concluída excluindo-se o ano de 2015, pelo fato de se desejar realizar uma busca de um ano completo, com 12 meses. Inicialmente a pesquisa retornou um total de 440 artigos, e após o refinamento resultou em uma amostra de 276 artigos a serem analisados.

3.3 Organização e tratamento bibliométrico dos registros coletados

O tratamento bibliométrico dos registros coletados é apresentado em duas etapas: estatística descritiva e análise de redes de relacionamento. A primeira, foi obtida através de tabelas e gráficos ilustrativos gerados através do *software* Microsoft Excel[®]. Na segunda etapa, utilizou-se a ferramenta SITKIS[®] (SCHILDT, 2002) para relacionar os dados de saída do banco de dados *ISI Web of Knowledge (Web of Science)*, o programa UCINET[®] para codificar os relacionamentos e o NetDraw[®] (BORGATTI; EVERETT; FREEMAN, 2002) para ilustrar os diagramas de relacionamento.

4. Análise dos Resultados

Uma primeira análise descritiva das publicações procurou identificar tendências de crescimento ou decréscimo no interesse de desenvolvimento de estudos na área, classificando os artigos da amostra de acordo com o ano de publicação (Figura 2). Observou-se que a primeira publicação relacionada com o tema data do ano de 1981, sendo que nos anos seguintes o volume de publicações apresenta um caráter cíclico com picos de volume de publicações nos anos 2007, 2011 e 2013, intercalados por períodos com menor volume de publicações.

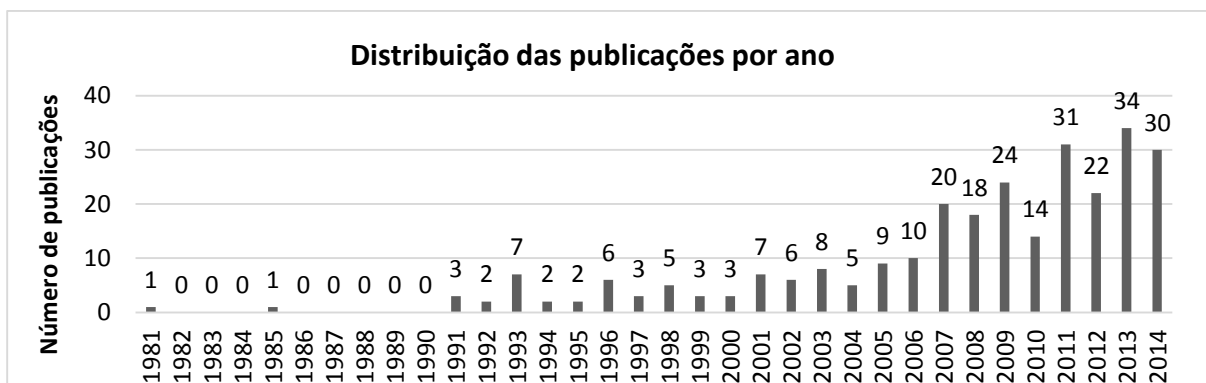


Figura 2 - Evolução das publicações da amostra ao longo do tempo

Uma segunda análise descritiva procurou avaliar a dispersão dos trabalhos, a fim de identificar os principais autores, países de origem e periódicos em volume de publicações, conforme indicado na Figura 3, Figura 4 e Figura 5.

Com relação à distribuição dos trabalhos por autor (Figura 3), a análise da amostra revelou uma dispersão considerável. Os autores com maior número de trabalhos são representados por um grupo constituído de 11 autores, com número de publicações na amostra acima de 5 artigos.

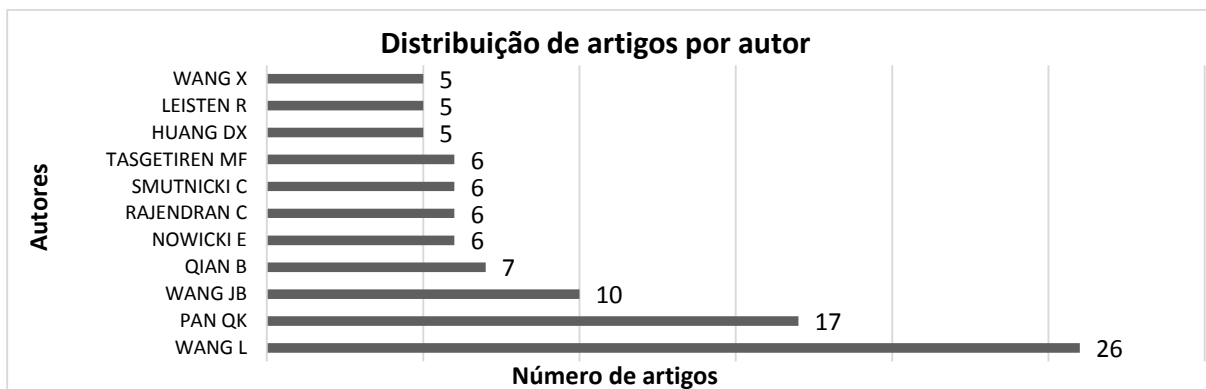


Figura 3 - Autores com maior número de publicações da amostra

A estratificação das publicações por país de origem (Figura 4) demonstra um predomínio acentuado de publicações originárias da China, com publicação de 80 artigos, seguido dos Estados Unidos, com publicação de 40 artigos. A estratificação conta com todos os países da amostra com quantidade de publicações superior a seis artigos.

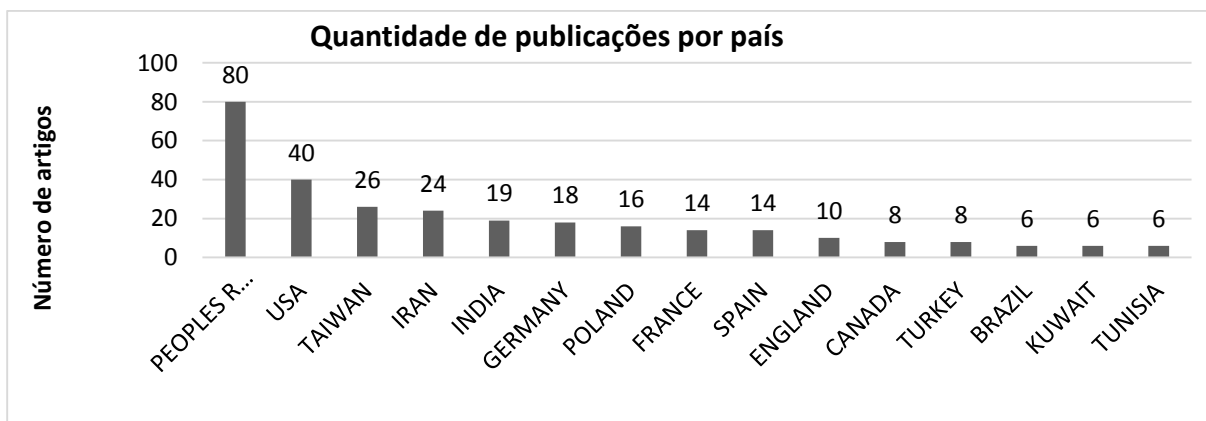


Figura 4 - Distribuição das publicações da amostra por país de origem

A distribuição dos artigos da amostra por periódico de publicação, encontra-se na Figura 5. Os 10 principais periódicos citados na Figura 5, são responsáveis por aproximadamente 64% da amostra.

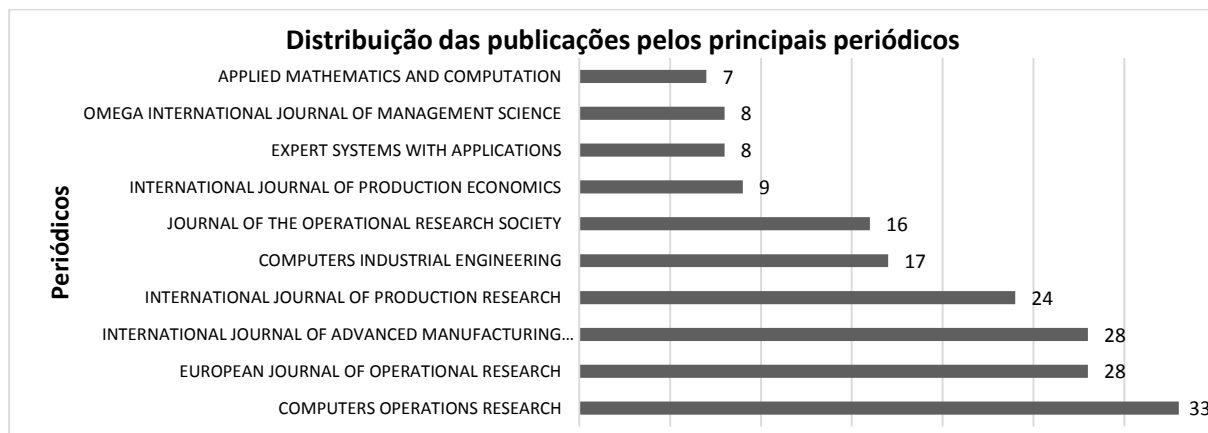


Figura 5 - Comparativo da distribuição dos artigos pelas principais periódicos

Os artigos com os maiores números de citações da amostra são apresentados na Tabela 1, juntamente com o fator de impacto de cada periódico.

Autores (Ano da Publicação)	Título da fonte	FI	TC	MA
Taillard, E (1993)	EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH	1,843	648	28.17
Nowicki, E; Smutnicki, C (1996)	EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH	1,843	214	10.70
Liu, Bo; Wang, Ling; Jin, Yi-Hui (2007)	IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS MAN AND CYBERNETICS PART B-CYBERNETICS	3,781	118	13.11
Pan, Quan-Ke; Tasgetiren, M. Fatih; Liang, Yun-Chia (2008)	COMPUTERS & OPERATIONS RESEARCH	1.718	109	13.62
Pan, Quan-Ke; Tasgetiren, M. Fatih; Suganthan, P. N.; Chua, T. J. (2011)	INFORMATION SCIENCES	3.893	108	21.60
Grabowski, J; Wodecki, M. (2004)	COMPUTERS & OPERATIONS RESEARCH	1.718	103	8.58
Ying, KC; Liao, CJ (2004)	COMPUTERS & OPERATIONS RESEARCH	1.718	95	7.92
Ben-Daya, M; Al-Fawzan, M (1998)	EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH	1,843	94	5.22
Framinan, JM; Leisten, R (2003)	OMEGA-INTERNATIONAL JOURNAL OF MANAGEMENT SCIENCE	3.190	88	6.77
Li, Bin-Bin; Wang, Ling (2007)	IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS MAN AND CYBERNETICS PART B-CYBERNETICS	3,781	76	8.44

Tabela 1 - Publicações mais citadas da amostra

Na busca de identificação das bases teóricas sobre as quais a amostra de publicações foi desenvolvida, construiu-se uma rede de relacionamento entre os artigos da amostra e suas

referências. O resultado dessa primeira análise está demonstrado na Figura 6. Há uma concentração clara em torno de duas referências específicas (TAILLARD, 1993; NAWAZ, ENSCORE e HAM, 1983) revelando certa influência nos trabalhos da área.

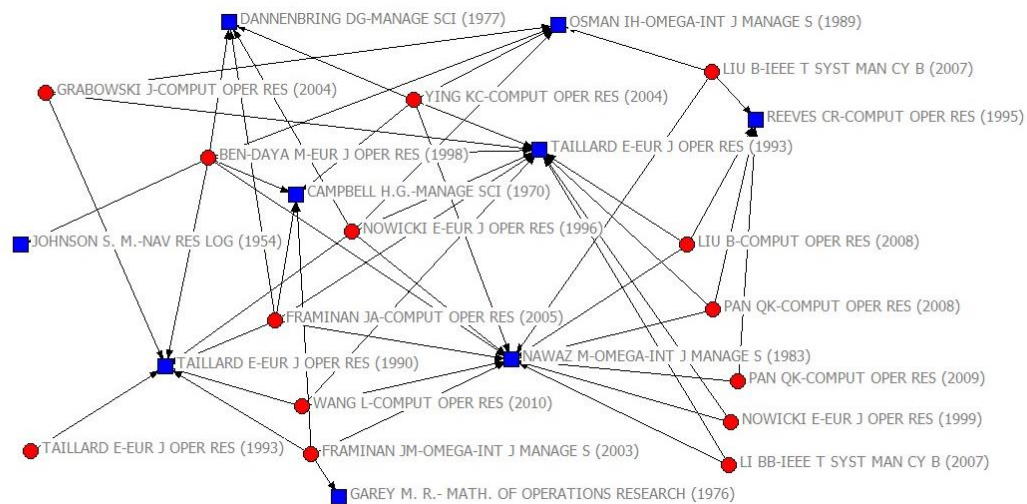


Figura 6 - Rede de relacionamento entre os artigos da amostra e suas referências

Nota: Os círculos representam os artigos da amostra inicial e os quadrados, suas referências, sendo que ambos foram citados pelo menos 50 vezes. Fonte: Os autores

A análise de cocitação (Figura 7) mede o grau de ligação entre dois ou mais artigos pelo número de documentos que os citam.

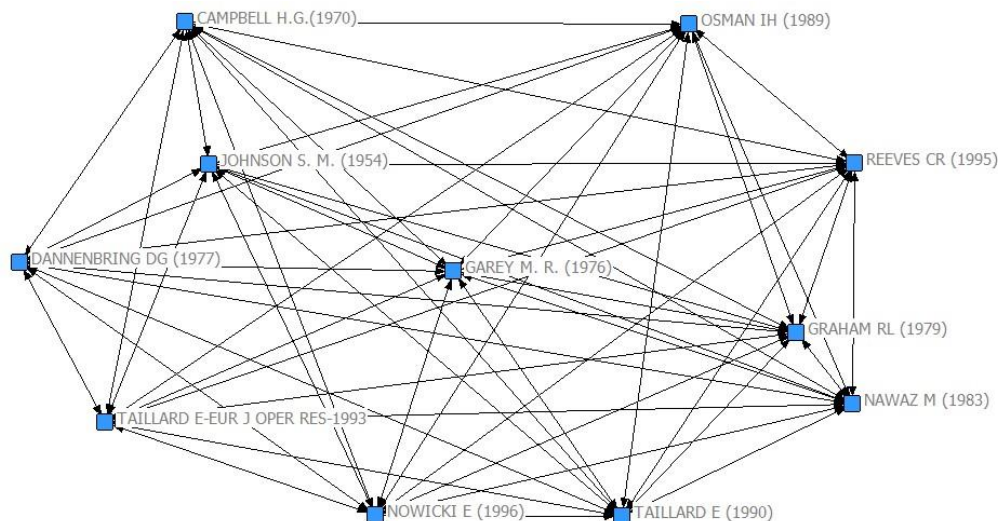


Figura 7 - Rede de cocitação

Nota: Os quadrados representam as referências dos artigos da amostra que foram citadas conjuntamente pelo menos 40 vezes.

Como última etapa da análise de redes, estabeleceu-se uma relação de coocorrência das palavras-chave dos artigos da amostra (Figura 8). A fim de restringir a quantidade de dados e proporcionar uma visão mais nítida dos relacionamentos, o critério de corte consistiu em analisar as palavras-chave apenas dos artigos com mais de 30 citações.

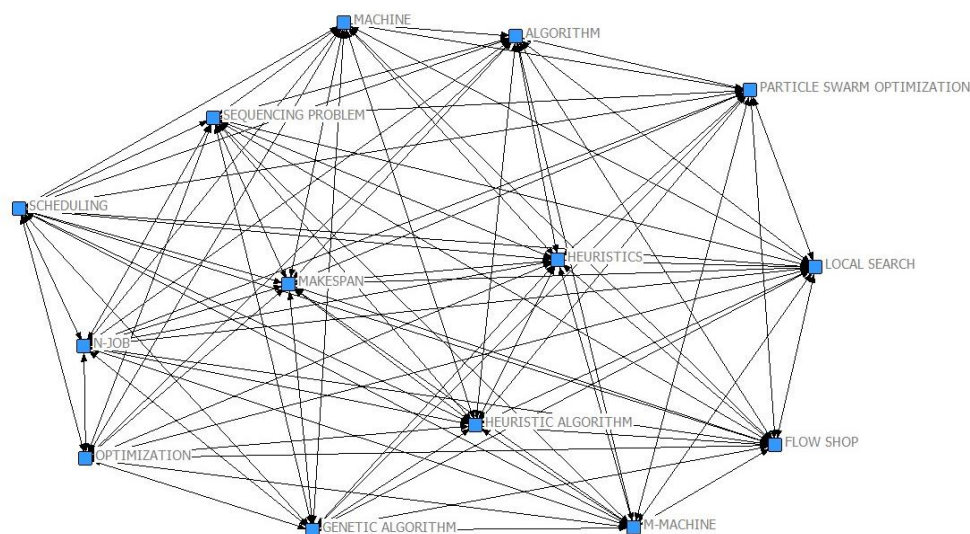


Figura 8 - Rede de coocorrência de palavras-chave

Nota: Os quadrados representam as palavras-chave dos artigos da amostra que foram citados conjuntamente pelo menos 30 vezes.

Essa análise contribuiu para uma identificação mais clara do inter-relacionamento dos principais temas. Por exemplo, uma das palavras que aparecem na rede é o “*makespan*”, o que induz a associação do mesmo como a medida de desempenho mais utilizada em PPP em FSP. Ruiz e Maroto (2005), corroboram com ideia, afirmando que a minimização da duração total da programação é o critério mais comum reportado na literatura. Sendo que outra medida usual refere-se à minimização do tempo médio de fluxo (*mean flow time*), associado à redução do estoque em processamento.

Outra palavra-chave importante, consiste na “*local search*”, ou seja, na “busca local”. Entende-se, portanto, que a maior parte dos estudos referentes a programação da produção em ambiente FSP utiliza-se de heurísticas melhorativas para solução de problemas.

Destacam-se da mesma forma, as palavras-chave com referência a métodos de solução específicos, tais como “*Particle Swarm Optimization*” e “*Genetic Algorithm*”, o que remete aos métodos que mais têm sido citados e estudados a fim de se resolver estes problemas de programação.

5. Considerações Finais

A organização de dados sobre a produção científica sobre o tema contribui sobremaneira para a consolidação do conhecimento disponível e para o desenvolvimento de novas visões e conceitos. Faz-se necessário, contudo, mostrar algumas limitações do método e das fontes de dados que estão disponíveis para a construção deste trabalho.

A plataforma escolhida para esta investigação, *ISI Web of Science*, tem a predominância de publicações norte-americanas e em língua inglesa, não contemplando a produção acadêmica de muitos países, sobretudo aqueles em desenvolvimento. Sendo assim, publicações brasileiras, relevantes para o entendimento do problema de pesquisa no país, não necessariamente integram a amostra utilizada, e por consequência, não estão retratadas nos resultados.

Outra limitação, originada também no processo amostral, diz respeito ao tipo de publicações selecionado. O conhecimento que não tenha sido transformado em um artigo científico não foi levado em consideração nesta pesquisa. O que se sugere, então, é o desenvolvimento de uma

investigação, cuja amostra seja constituída por artigos publicados no Brasil, ainda que não se considere outros veículos de publicação, mas que seja possível a identificação de autores e núcleos de pesquisa com produção relevante no país.

Outra sugestão de trabalho futuro, seria a avaliação bibliométrica e sistemática das publicações apenas dos últimos anos, a fim de se delimitar o que vem sendo publicado mais recentemente, evidenciando o real estado da arte. Uma avaliação sistemática da bibliografia, poderia ser realizada, classificando-se os trabalhos por: métodos de solução; número de máquinas; tipo de função objetivo; critério de desempenho adotado; e restrições adicionais consideradas, por exemplo.

A maioria dos problemas reais de programação da produção é por natureza muito complexa e de difícil resolução, sendo que o estudo de funções objetivo bi e multi-critério; o desenvolvimento de meta-heurísticas e matheurísticas; o estudo de *setups* independentes ou dependentes da sequência das tarefas e que adicionam restrições verificadas na prática dos ambientes de produção constituem-se em oportunidades evidentes para pesquisas futuras neste ambiente.

Referências

ARAÚJO, C. *Bibliometria: evolução histórica e questões atuais*. Pesquisa Brasileira em Ciência da Informação e Biblioteconomia, 2, 11-32, 2006.

ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R. *Pesquisa operacional: para cursos de engenharia*, 2007.

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

BARGAOUI, H.; DRISS, O. B. *Multi-agent Model Based on Tabu Search for the Permutation Flow Shop Scheduling Problem*. Distributed Computing and Artificial Intelligence, 11th International Conference. Springer International Publishing, 519-527, 2014.

BOIKO, T. J. P.; MORAIS, M. F. *A atividade de programação da produção sobre a ótica da Pesquisa Operacional: uma abordagem teórico conceitual*, Anais Encontro Tecnológico, Campo Mourão, Paraná, 2009.

BORGATTI, S. P.; EVERETT, M. G.; FREEMAN, L. C. *Ucinet for Windows: Software for social network analysis*, 2002.

BOSCHETTI, M. A.; MANIEZZO, V.; ROFFILLI, M.; RÖHLER, A. B. *Matheuristics: Optimization, Simulation and Control*. Lecture Notes in Computer Science, 5818, 171-177, 2009.

BUFREM, L.; PRATES, Y. *O saber científico registrado e as práticas de mensuração da informação*. Ciência da Informação, Brasília, 34, n. 2, 9-25, 2005.

CAMPBELL, H. G.; DUDEK, R. A.; SMITH, M. L. *A heuristic algorithm for the n-job, m-machine sequencing problem*. Management science, 16, n. 10, 630-637, 1970.

DANNENBRING, D. G. *An evaluation of flow-shop sequence heuristics*. Management science, 23, n. 11, 1174-1182, 1977.

GAO J.; CHEN R.; DENG, W. *An efficient tabu search algorithm for the distributed permutation Flow shop scheduling problem*. International Journal of Production Research, 51, 3 ed., 641-651, 2013.

GAREY, M. R.; JOHNSON, D. S.; SETHI, R. *The Complexity of Flow shop and Jobshop Scheduling*. Mathematics of Operations Research. 1, 117-129, 1976.

GIGANTE, R. L. *Heurística construtiva para a programação de operações flow shop permutacional*. São Carlos, (2010). Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Área de Concentração em Processos e Gestão de Operações – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos: USP, 2010.

GLOVER, F.; KOCHENBERGER, G. A. *Handbook of Metaheuristics*. Kluwer Academic Publishers. Boston, 2003.

GRABOWSKI, J.; WODECKI, M. *A very fast tabu search algorithm for the permutation flow shop problem with makespan criterion*. Computer & Operations Research. 31, 1891-1909, 2004.

IGNALL, E.; SCHRAGE, L. E. *Aplication of Branch and Bound Technique to some Flow-Shop Problem*. Operations Research. 13, 400-412, 1965.

KALCZYNSKI, P. J.; KAMBUROWSKI, J. *An Improved NEH heuristic to minimize makespan in permutation Flow shop*. Computers & Operations Research. Amsterdam, 35, n. 9, 3001-3008, 2008.

KAZAMA, E. K. *Heurísticas construtivas para programação de operações em sistemas de produção Flow shop permutacional: classificação de suas fases construtivas*. 2011. 99 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos: USP, 2011.

LAHA, D.; Chakraborty, U. K. *An efficient hybrid heuristic for makespan minimization in permutation flow shop scheduling*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 44, n. 5-6, 559-569, 2009.

LOMNICKI, Z. *A branch and bound algorithm for the exact solution of three machine scheduling problem*. Operational Research. 89-100, 1965.

MACCARTHY, B. L.; LIU, J. *Adressing the gap in scheduling research: a review of optimization and heuristic methods in production scheduling*. International Journal of Production Research. Londres, 31, n.1, 59-79, 1993.

MANNE, A. S. *The job-shop scheduling problem*. Operational Research, 219-223, 1960, 2014.

MOCCELLIN, J. V. *A new heuristic method for the Permutation Flow-Shop Scheduling Problem*. Journal of the Operational Research Society, 46, 883-886, 1995.

MOCCELLIN, J. V.; NAGANO, M. S. *Evaluating the Performance of Tabu Search Procedures for Flow Shop Sequencing*. Journal of the Operational Research Society, 49, 1296-1302, 1998.

MOCCELLIN, J. V.; NAGANO, M. S. *Uma propriedade estrutural do problema de programação da produção flow shop permutacional com tempos de setup*. Pesquisa Operacional. 27, n. 3, 487-515, 2007.

NAWAZ, M.; ENSCORE, E. E.; HAM, I. *A Heuristic Algorithm for m-Machine, n-Job Flow-Shop Sequencing Problem*. Omega, 11, 91-95, 1983.

NOWICKI, E.; SMUTNICKI, C. *A Fast Tabu Search Algorithm for the Permutation Flow-shop Problem*. European Journal of Operational Research, 91, n. 1, 160-175, 1996.

OSMAN, I. H.; POTTS, C. N. *Simulated Annealing for Permutation Flow-Shop Scheduling*.

Omega, 17, n. 6, 551-557, 1989.

PALMER, D. S. *Sequencing jobs through a multistage process in the minimum total time: a quick method of obtaining a near optimum.* Operational Research, 101-107, 1965.

PARK, M. W.; KIM, Y. D. *A Systematic Procedure for Setting Parameters in Simulated Annealing Algorithms.* Computers & Operations Research, 25, 207-217, 1998.

PILKINGTON, A.; MEREDITH, J. *The evolution of the intellectual structure of operations management – 1980-2006: a citation/co-citation analysis.* Journal of Operations Management, 27, 185-202, 2009.

RAD, S. R.; RUIZ, R.; BOROOJERDIAN, N. *New high performing heuristic for minimizing makespan in permutation Flow shops.* Omega: the International Journal of Management Science, Oxford, 37, n. 2, 331-345, 2009.

REN, W. J., DUAN, J. H., ZHANG, F. R., HAN, H. Y., ZHANG, M. *Hybrid Tabu Search Algorithm for bi-criteria No-idle permutation flow shop scheduling problem.* In: Control and Decision Conference (CCDC), 2011 Chinese. IEEE. 1699-1702, 2011.

RUIZ, R.; MAROTO, C. *A comprehensive review and evaluation of permutation Flow shop heuristics.* European Journal of Operational Research, 165, 479-494, 2005.

SCHILDT, H. *Sitkis: Software for Bibliometric Data Management and Analysis.* Helsinki Institute of Strategy and International Business. 6, 2002.

SELEN, W. J.; HOTT, D. D. *A Mixed-Integer Goal Programming Formulation of the Standard Flow-Shop Scheduling Problem.* Journal of the Operational Research Society, 37, 1121-1128, 1986.

TAILLARD, E. *Some efficient heuristic methods for the flow-shop sequencing problem.* European Journal of Operational Research, 47, 65-74, 1990.

TAILLARD, E. *Benchmarks for basic scheduling problems.* European Journal of Operational Research, 64, 278-285, 1993.

WODECKI, M.; BOŹZEJKO, W. *Solving the flow shop problem by parallel simulated annealing.* In: Parallel Processing and Applied Mathematics. Springer Berlin Heidelberg, 236-244, 2002.

XIE, Z., ZHANG, C., SHAO, X., LIN, W., ZHU, H. *An effective hybrid teaching-learning-based optimization algorithm for permutation flow shop scheduling problem.* Advances in Engineering Software, 77, 35-47, 2014.

XU, Y.; WANG, L.; WANG, S.; LIU, M. *An effective hybrid immune algorithm for solving the distributed permutation flow-shop scheduling problem.* Engineering Optimization, 46, 9 ed., 1269-1283, 2014.

ZEGORDI, S. H.; ITOH, K.; ENKAWA, T. *Minimizing Makespan for Flow Shop Scheduling by Combining Simulated Annealing with Sequencing Knowledge.* European Journal of Operational Research, 85(3), 515-53, 1995.