PROPOSTA DE FRAMEWORK COM O FOCO NA ANÁLISE E REPRESENTAÇÃO DE DADOS, PARA PESQUISAS DE OTIMIZAÇÃO BASEADOS EM HEURÍSTICAS APLICADAS A PROBLEMAS DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO

Ronaldo Castro de Oliveira
Universidade Federal de Uberlândia – UFU
ronaldooliveira@facom.ufu.br

Roberto Fernandes Tavares Neto
Universidade Federal de São Carlos - UFSCar
tavares@dep.ufscar.br

Hercules Tadeu Asato Dantas
Universidade Federal de São Carlos - UFSCar
dantas.hercules@gmail.com

RESUMO

Uma das maiores dificuldades quando se avalia uma pesquisa que utiliza métodos de otimização na solução de problemas de sistemas de produção é a falta de padronizações aplicadas na construção da solução, o que envolve desde a especificação dos dados de entrada, os modelos e padrões de projeto utilizados na codificação, a especificação dos parâmetros de configuração e na análise e representação dos resultados de saída apresentados. Esta falta de padronização dificulta a comparação de pesquisas correlatas que tratam do mesmo assunto. Este artigo apresenta uma proposta de classificação dos resultados de saída destas pesquisas que usam otimizações baseadas em heurísticas para problemas de sistemas de produção. Esta classificação fornecerá uma ampla base para levantar e definir padrões de análise e representação dos dados de saída, de forma a facilitar a comparação e avaliação de pesquisas nesta área.

PALAVARAS-CHAVE: Framework, **Otimização, Heurísticas, Problemas de sistemas de produção.**

1.Introdução

Realizar pesquisas que tratam da solução de problemas de sistemas de produção em muitos casos é um grande desafio. O fluxo natural na busca das soluções para estes problemas costuma envolver a implementação de uma solução algorítmica e sua validação, seja através da comparação com resultados obtidos na literatura ou através da aplicação de outras técnicas. Um grande desafio deste processo é que os problemas de sistemas de produção são de altíssima complexidade e muitas vezes classificados como "NP-hard", o que na prática significa que uma solução algorítmica exata levaria um tempo computacional extremamente grande para conseguir chegar a uma solução ótima. Neste sentido, muitas pesquisas acabam usando heurísticas e meta-heurísticas para solucionar estes problemas. Uma heurística consegue chegar a valores aceitáveis, muitas vezes os próprios valores ótimos obtidos pelos métodos exatos, com a vantagem de usar um tempo computacional muito menor (Blum e Roli, 2003).

Mesmo com o crescimento do uso de heurísticas na solução dos problemas de sistemas de produção, cada pesquisador acaba construindo uma solução distinta, muitas vezes desenvolvida do zero. Na maioria dos vezes o desenvolvimento está relacionado com o conhecimento de cada pesquisador que muitas vezes não utiliza de padrões de desenvolvimento, sejam eles, padrões de definição dos dados de entrada, padrões de especificação da solução, padrões de configuração dos parâmetros de execução e padrões de análise e representação dos resultados. A Figura 1 apresenta a estrutura do framework proposto.

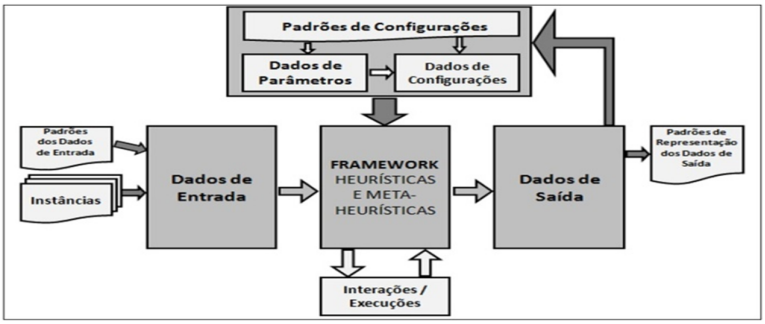

Figura 1 - Estrutura do framework proposto (elaborado pelos autores)

O maior problema é que todo este processo muitas vezes dificulta a comparação destas pesquisas. O objetivo deste trabalho é propor a especificação de um framework que forneça para os pesquisadores que trabalham nesta área, um conjunto de padrões que possam ser utilizados na especificação, construção, teste e armazenamento de informações das execuções realizadas, de forma a facilitar a comparação com outras pesquisas. Neste sentido tem como proposta uma classificação de pesquisas realizadas na área, de forma a especificar padrões de análise e representação de dados de saída destas pesquisas. Isto é necessário porque vários trabalhos publicados usam somente tabelas comparativas dos dados de saída, nem mesmo se preocupando em utilizar gráficos que poderia fornecer uma análise mais clara ao leitor. Mesmo aqueles trabalhos que utilizam gráficos, não seguem padrões especificado. As demais etapas apresentadas na Figura 1 serão desenvolvidas em trabalhos futuros.

Este artigo contempla cinco seções. A primeira seção é a Introdução (Seção 1) em que se contextualiza a pesquisa e delimita os objetivos. A seção 2 define os tipos de problemas relacionados com sistemas de produção e apresenta as principais heurísticas utilizadas. A seção 3 apresenta a classificação proposta no presente trabalho, e na seção 4 efetua um teste de conceito da classificação proposta com cinco artigos selecionados. A seção 5 apresenta as conclusões e perspectivas para trabalhos futuros. Por fim são apresentadas as referencias utilizadas no presente trabalho.

2.Solução para problemas em sistemas de produção

Os aspectos do planejamento e controle da produção mudam ao longo do tempo. Slack et al. (1997), ilustra esta natureza de planejamento estabelecendo uma visão de curto, médio e de longo prazo. Segundo Arenales et al (2007) os problemas de sistemas e produção podem ser definidos como sendo problemas de produção e problemas de logística, e o relacionamento destes com o horizonte de planejamento de longo e curto prazo são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Problemas de sistemas de produção (Slack *et al*, 1997 e Arenales *et al*, 2007)

	Longo Prazo	**Curto Prazo**
Problemas de Produção	Dimensionamento de Lotes (*Lot Sizing*)	Programação de Tarefas (*Scheduling*)
Problemas de Logística	Localização de Facilidades (*Facility Location*)	Roteamento de Veículos (*Vehicle Routing*)

O dimensionamento do lote de produção especifica a quantidade que será produzida, de acordo com a capacidade de produção das instalações, de forma que a demanda dos clientes sejam atendidas onde a soma dos custos de produção e estocagem sejam minimizadas (Arenales et al., 2007). Já o problema de programação de tarefas consiste na alocação de recursos para tarefas, respeitando as restrições impostas e otimizando um ou mais critérios, dentre eles o *makespan* (instante de término da última tarefa). Os problemas de sequenciamento ou programação de tarefas em sistemas de produção são, tradicionalmente, classificados em função do fluxo das operações nas máquinas, conforme Nagano et al. (2004).

O problema de localização de facilidades está focado na localização de fábricas, armazéns e centros de distribuição, preocupando-se em estudar uma área específica a partir das

unidades de distribuição de produtos ou de prestação de serviços, com o objetivo de determinar a quantidade e a localização ideal destas. Por último o problema de roteamento de veículos envolvem projetos de rotas de entrega e/ou coleta de custo mínimo, por intermédio de uma frota de veículos, partindo de um ou mais depósitos para um número de clientes, sujeito a restrições adicionais que dependem de cada problema estudado. (Arenales et al., 2007).

Os problemas de um sistema de produção podem ser otimizados utilizando várias técnicas combinatórias diferentes. Para um grande conjunto desses problemas, é inviável o uso de algoritmos exatos de otimização combinatória que possam chegar a uma solução ótima usando um conjunto viável de recursos computacionais, principalmente pela característica não polinomial dos algoritmos. Devido a isso, tais algoritmos são apropriados somente para problemas de tamanho reduzido ou características especiais. Por esta razão normalmente utilizam-se algoritmos baseados em heurísticas para encontrar uma solução aceitável (não necessariamente a solução ótima). Estas soluções aproximadas tornam-se viáveis em função do tamanho do problema que se deseja resolver. Dentre as diferentes abordagens existem inúmeras meta-heurísticas foram desenvolvidas na busca por soluções, dentre elas: Simulated Annealing (SA), TABU Search, GRASP, Genetic Algorithmics (GA) e Ant Colony Optimization (ACO) (Blum e Roli, 2003).

3.Classificação proposta

A partir do levantamento teórico, chegou-se a classificação das análises e representações dos dados de saída. Esta classificação está dividida em quatro grandes caracterizações que são:

- Caracterização do processamento: define o tipo do problema de sistema de produção, o fluxo do processo da produção (Maccarthy, B. L.; Fernandes, F. C. F., 2000) e qual unidade de grandeza utilizada no trabalho;
- Caracterização da meta-heurística utilizada: define a meta-heurística utilizada, os dados de comparação de referência (benchmark) e o pré-processamento utilizado;
- Caracterização da representação dos dados: define como a análise de dados foi realizada e quais foram às representações gráficas utilizadas. Bruni (2007) e Anderson, Sweeney e Williams (2007) apresentam os principais conceitos estatísticos utilizados;
- Caracterização do tempo de execução: especifica como os autores do trabalho limitaram as execuções do(s) algoritmo(s) heurísticos na solução do problema.

Cada caracterização possui as suas subdivisões de classificação que são apresentadas de forma sumarizadas na Tabela 2, visualizando toda a classificação proposta.

4.Aplicação da classificação proposta e análise

Para testar a classificação proposta foram selecionados cinco artigos de problemas de sistemas de produção diferentes, usando heurísticas distintas (exemplo: para Arenales et al (2007) a classificação fica - T1/U$-U#/H4/BE/PG/A3-A6/G2/E#). A Tabela 3 apresenta o teste da aplicação da classificação proposta com estes cinco artigos.

Pode-se observar alguns padrões entre os cinco artigos analisados. Quatro dos cinco artigos trabalham com unidade de grandeza numérica. Os artigos de programação de tarefas usam a unidade de grandeza tempo. Três dos cinco artigos usaram valores de comparação externo (benchmark), vindos de outros trabalhos, e os outros dois usaram valores de referência calculados de forma aleatória na distribuição normal. Em relação ao pré-processamento três dos cinco artigos trabalharam com valores absolutos e os outros dois com diferenças dos valores de referência. Ao estudar o conjunto de artigos pode-se verificar que os mesmos não fazem grandes análises de dados, limitando-se na maioria deles a médias simples ou no máximo o desvio médio dos valores de referência. A maioria dos artigos apresenta os resultados em gráficos de linha simples, e somente um deles apresentou um gráfico *boxplot*. Todos os artigos analisados executaram os seus experimentos limitados pelo número máximo de ciclos de execução.

Tabela 2 – Sumarização da Classificação Proposta (Elaborado pelos autores.)

Sigla	Descrição	Subcaracterística
Caracterização do Processamento		
T	Tipo de Problema	1 - Dimensionamento de Lotes de Produção (Lot Sizing Problem) 2 - Programação da Produção (Scheduling Problem) 3 - Localização de Facilidades (Location Facility Problem) 4 - Roteamento de Veículos (Vehicle Routing Problem)
F	Fluxo do Processo	1 - Estágio único com apenas uma máquina 2 - Estágio único com máquina idênticas em paralelo 3 - Estágio único com máquinas não idênticas em paralelo 4 - Processo multiestágios unidirecional (flow shop) 5 - Processo multiestágios unidirecional, que permite que estágios sejam pulados (overflow) 6 - Processo multiestágios unidirecional, com máquinas idênticas em paralelo 7 - Processo multiestágios unidirecional, com máquinas idênticas em paralelo, com overflow 8 - Processo multiestágios unidirecional, com máquinas idênticas em paralelo 9 - Processo multiestágios unidirecional, com máquinas não idênticas em paralelo, com overflow 10 - Processo multiestágios multidirecional, e.g., job shop 11 - Processo multiestágios multidirecional, com máquinas idênticas em paralelo 12 - Processo multiestágios multidirecional, com máquinas não idênticas em paralelo
U	Unidade de Grandeza	T - Tempo: 1 - Processamento (Makespan, Tempo de Finalização - $\sum Ci$, Temp. de Fluxo - $\sum Fi$ ou $\bar{F}$) 3 - Lateness ($Li = Ci - Di$; onde $\infty < Li < \infty$; Ci - data de finalização, Di - data de entrega) 2 - Tradiness - Atraso ($Ti = Max \{Li, 0\}$) 4 - Earliness – Adiantamento ($Ei = Max \{-Li, 0\}$) $ - Valores monetários # - Numérico M – Utilização de Multi-objetivo para análise: S { U1, U2, ..., Un } - Soma ponderada, ex: S { T1, T2 }; onde U1, U2, ...,Un são elementos da unidade de grandeza P { U1, U2, ..., Un } – Pareto, ex: P { $, T2 }; onde U1, U2, ...,Un são elementos da unidade de grandeza
Caracterização da Meta-heurística Utilizada		
H	Heurística	1 - SA - Simulated Annealing 2 - TABU 3 - GRASP 4 - AG - Algoritmo Genéticos 5 - Iterated Greedy 6 - ACO - Ant Colony Optimization 7 - BCO - Bees Colony Optimization 8 - VNS - Variable Neighborhood Search 9 - Estimation of distribution algorithm
B	*Benchmark* de Comparação dos Dados	E - Externo R - Real A - Aleatório: 1 - Distribuição Binomial; 2 - Distribuição de Poisson; 3 - Distribuição Normal; 4 – Distribuição Uniforme
P	Pré-processamento	G - GAP (diferença entre os dados encontrados) A – Absoluto D – Distância Euclidiana
Caracterização da Representação dos Dados		
A	Análise dos dados	1 - Mínimo 2 - Máximo 3 - Média 4 - Mediana 5 - Moda 6 - Desvio Médio 7 - Variância 8 - Desvio Padrão 9 - ANOVA (Analysis of Variance) 10 - Planejamento de Experimentos 11 – N-vezes que atingiu a melhor solução conhecida 12 - Teste Paramétrico: a - Hipótese; b - Bilateral; c - Unilateral; d - Igualdades; e - Diferenças; f - Análise Post-Hoc 13 - Teste Não Paramétrico: a - Qui-quadrático; b - Sinais; c - Wilcoxon; d - Mann-Whitney; e - Mediana; f - Kruskal-Wallis; g - Teste t 14- % de Falha
G	Gráficos	1 – Barras ou Colunas 2 – Gráfico de Linha 3 – Diagrama Retangular 4 – Gráfico Circular ou de Setores 5 – Gráfico Polar 6 – Histograma 7 – Gráfico de Dispersão 8 – Boxplot
Caracterização da Representação dos Dados		
E	Execução	# - Limitado por número máximo de ciclos V – Limitado por valor específico T – Limitado por tempo

Tabela 3 – Teste da classificação proposta

N	Referência	Classificação
1	(Toledo et al., 2013)	**T1/U$-U#/H4/BE/PG/A3-A6/G2/E#**
2	(Jin et al., 2012)	**T4/U#/H2/BE/PA/A1-A6/E#**
3	(Pasandideh e Niaki, 2010)	**T3/U$-U#/H4/BA3/PA/A1/G2/E#**
4	(Tavaraes Neto; Godinho Filho, 2011)	**T2/F4/UT1–U$/H5/BA3/PG/A3/G8/E#**
5	(Witkowski et al., 2010)	**T2/F12/UT1-U#/H1-H3/BE/PA/A1-A2-A3/E#**

5.Conclusões e perspectivas para trabalhos futuros

Este trabalho apresentou uma classificação dos dados de saída que faz parte de uma pesquisa maior que é a proposta de framework para pesquisas que usam otimizações baseada em heurísticas para solução de problemas de sistemas de produção. A proposta da classificação dos dados de saída tem como objetivo levantar e especificar padrões de análise e representação de resultados de pesquisas nesta área, fornecendo um passo a passo para categorização das publicações relacionadas. Um teste da classificação foi realizado com uma amostra heterogênea de artigos recentes, comprovando a viabilidade de uso, mostrando a facilidade de análise e comparação das características, e possibilitando a especificação de padrões a serem utilizados.

Como perspectivas de trabalhos futuros, espera-se a aplicação desta classificação em um conjunto mais amplo de trabalhos nesta área, que utilizam as principais heurísticas citadas, de forma que se possam estabelecer os padrões de análise e representação dos resultados. Espera-se também que estes padrões estabelecidos possam ser utilizados para construção de novos padrões de configuração, para fornecer uma base para a especificação do framework de execução de heurísticas na solução problemas de sistemas de produção.

Referências

Anderson, D.R., Sweeney, D.J., Williams, T.A. (2007). *Estatística Aplicada à Administração e Economia*. 2ª Edição, São Paulo: Cengage Learning.

Arenales, M.; Armentano, V.,; Morabito, R. (2007). *Pesquisa operacional: para cursos de engenharia*. Campus.

Blum, C.; Roli, A. (2003). *Metaheuristics in Combinatorial Optimization□: Overview and Conceptual Comparison*. ACM Computing Surveys, v. 35, n. 3, p. 268–308.

Bruni, A.L. (2007). *Estatística Aplicada à Gestão Empresarial*. 2ª Edição, São Paulo: Ed. Atlas.

Jin, J.; Crainic, T. G.; Lokketangen, A. (2012). *A parallel multi-neighborhood cooperative tabu search for capacitated vehicle routing problems*. European Journal of Operational Research, v. 222, n. 3, p. 441–451.

Maccarthy, B. L.; Fernandes, F. C. F. (2000). *A multi-dimensional classification of production systems for the design and selection of production planning and control systems*. Production Planning & Control, v. 11, n. 5, p. 481–496.

Nagano, M. S.; Antonio, L.; Lorena, N.; Inpe, L. A. C. (2004). *Programação da Produção Flow Shop Permutacional com Minimizaçao do Tempo Médio de Fluxo*. XXXVI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. São João Del-Rei.

Pasandideh, S. H. R.; Niaki, S. T. A. (2010). *Genetic application in a facility location problem with random demand within queuing framework*. Journal of Intelligent Manufacturing, v. 23, n. 3, p. 651–659.

Slack, N., Chambers, S., Johnston, R. (1997). *Administração da produção*. 2ª Edição, São Paulo: Atlas.

Tavares Neto, R. F.; Godinho Filho, M. (2011). *An ant colony optimization approach to a permutational flowshop scheduling problem with outsourcing allowed*. Computers & Operations Research, v. 38, n. 9, p. 1286–1293.

Toledo, C. F. M.; Oliveira, R. R. R.; França, P. M. (2013). *A hybrid multi-population genetic algorithm applied to solve the multi-level capacitated lot sizing problem with backlogging*. Computers & Operations Research, v. 40, n. 4, p. 910–919.

Witkowski, T.; Antczak, P.; Aantczak, A. (2010). *Solving the Flexible Open-Job Shop Scheduling Problem with GRASP and Simulated Annealing*. 2010 International Conference on Artificial Intelligence and Computational Intelligence, p. 437–442.