

# Análise dos Tempos de *Setup* Dependentes da Sequência em uma Empresa do Polo Industrial de Manaus através da Regra de Liberação e do Algoritmo Genético

Luiz Eduardo Fernandes Bentes<sup>1</sup>, Wesley da Silva Rocha<sup>1</sup>,  
Renata da Encarnação Onety<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Núcleo de Computação

<sup>2</sup>Departamento de Engenharia da Produção  
Escola Superior de Tecnologia  
Universidade do Estado do Amazonas  
Av. Darcy Vargas, 1200 – Manaus – Amazonas

{lefb.eng, wsr.snfl17, ronety}@uea.edu.br

**Abstract.** *In some manufacturing processes carried out in the Industrial Pole of Manaus, it is possible to identify scheduling situations that use intuitive rules, such as the Liberation Rule. The purpose of this article is to analyze how the current manufacturing methods and the genetic algorithms respond to a single machine scheduling problems at a local electronic board production company.*

**Resumo.** *Em alguns processos de produção realizados no Polo Industrial de Manaus, são identificadas situações de scheduling que utilizam regras intuitivas como a Regra de Liberação. A proposta deste artigo é analisar como os métodos atuais de produção e os algoritmos genéticos respondem à resolução do problema de sequenciamento de máquina única presente em uma empresa local responsável pela produção de placas eletrônicas.*

## 1. Introdução

A Zona Franca de Manaus, modelo de desenvolvimento econômico implantado pelo governo brasileiro para o desenvolvimento da região, engloba majoritariamente o setor industrial. Atualmente, existem mais de 600 indústrias com atuações principais nos segmentos de eletroeletrônicos, duas rodas e químico, sendo, portanto, responsável pela maior parte da economia da cidade de Manaus [SUFRAMA 2015]. Os profissionais atuantes nesta realidade industrial vivenciam diversas situações que podem ser descritas em problemas de *scheduling* [Müller and Dias 2002], nos quais o tempo reflete diretamente no desempenho financeiro da empresa. Uma dessas situações ocorre em uma empresa local de produção de placas eletrônicas, responsável por diversos processos, desde a montagem das placas à implementação destas em um produto final.

A situação-problema apresenta-se como a busca pela minimização do tempo de término das tarefas (*makespan*) a serem realizadas por uma máquina de inserção automática de componentes. No contexto analisado, os tempos de preparação da máquina são dependentes da sequência, isto é, terão duração de acordo com a tarefa processada anteriormente. Atualmente, o problema é resolvido manualmente, o que evidencia um considerável distanciamento entre os meios teóricos e práticos empregados na atividade

de sequenciar. Dessa forma, tem-se como objetivo minimizar o *makespan* ao considerar-se o tempo de *setup* da máquina entre as tarefas, em um modelo de uma máquina única.

O *setup* é definido pelas trocas de carretéis de componentes de modo que, a cada novo modelo de placa produzido, são retirados os carretéis que não serão utilizados e colocados os novos para a produção do próximo modelo. Assim, quando duas placas consecutivas têm componentes semelhantes, o número de trocas de carretéis diminui. Segundo a notação de Graham, este problema de sequenciamento com tempos de *setup* dependentes da sequência pode ser descrito como o problema  $1|s_{ij}|C_{max}$  [Subramanian et al. 2014]. Este problema pode ser traduzido como o Problema do Caixeiro Viajante que pertence a classe dos problemas NP-Difícil. Dentro de empresas que precisam tratar esses problemas, é comum o uso de técnicas baseadas na Regra de Liberação, devido ao fato de serem métodos intuitivos e de fácil implementação.

A proposta deste trabalho é identificar no caso real desta empresa, qual seria a sequência de produção capaz de produzir respostas satisfatórias para pequenas instâncias de tarefa através da execução de algoritmo heurístico (algoritmo genético). A comparação com a regra de liberação, que representa o processo atual, é feita por meio de análises gráficas. Desta forma, pode-se desenvolver uma ferramenta para ajudar no planejamento e controle da produção com redução do tempo de execução das tarefas determinadas.

## 2. Metodologia

Com os dados coletados na empresa a partir de entrevista do tipo semiestruturada, verificou-se que o tempo de *setup* varia em função da similaridade entre as placas. Deste modo, construiu-se a instância denominada J22. Esta corresponde à uma matriz de adjacência com a quantidade de carretéis a serem trocados entre um modelo e outro de um total de 22 placas. Além do desenvolvimento da instância J22, foram utilizadas instâncias clássicas do Problema do Caixeiro Viajante, disponibilizadas na biblioteca TSPLIB, a fim de garantir resultados consistentes dos métodos, uma vez que para essas instâncias a resposta ótima já é conhecida. Neste trabalhos, representamos apenas a instância *Ulysses22* para efeitos de comparação.

A próxima etapa constitui-se na implementação dos algoritmos que indiquem a sequência de produção de menor número de trocas de carretéis e, conseqüentemente, menor consumo de tempo durante o *setup*. Cada algoritmo segue uma lógica diferente para esse fim, sendo um otimizado, e o outro, seguindo a regra MTS, conforme descritos a seguir.

### 2.1. Regra de Liberação: MTS

Conforme [Pacheco and Santoro 2001], o método de sequenciamento da produção mais conhecido pelas empresas é a Regra de Liberação. Constituída de uma lógica simples e direta para o plano de montagem da sequência da produção, uma dessas regras é a MTS (Menor Tempo de *Setup*). Nesta regra, estipula-se que, ao completar uma tarefa, a próxima será a que demandar menor tempo de *setup*. O MTS é aplicado na empresa em questão como solução para o sequenciamento dos modelos de placas eletrônicas. Para simular o funcionamento da regra MTS, desenvolveu-se um algoritmo guloso cuja estratégia imediatista elege a melhor solução possível no momento como a mais próxima, sem levar em consideração outras possibilidades.

## 2.2. Algoritmo Genético

Inspirando-se nos mecanismos de seleção natural e herança genética, John Holland (1975) propôs o método de busca e otimização conhecido como Algoritmo Genético (AG). Através da escolha dos indivíduos mais aptos e de sucessivos cruzamentos entre eles (além de mutações), a natureza foi capaz de encontrar indivíduos capazes de resolver habilmente os diversos problemas inerentes à sobrevivência [de Lacerda and de Carvalho 1999]. O AG foi feito utilizando indivíduos constituídos por números na base decimal para representação de cada placa e a população foi descrita de forma uniformemente aleatória utilizando um gerador de números aleatórios de alta qualidade. A implementação em si foi desenvolvida utilizando a linguagem C++. As operações utilizadas no desenvolvimento do AG foram: Inicialização Randômica Uniforme; Seleção por Torneio; Cruzamento multiponto e mutação por troca (*swap mutation*). O uso de tais operadores foram possíveis ao converter a sequência de placas de um gene em uma permutação.

Considerando um grafo  $G = (N, E)$  onde  $N = \{1, \dots, n\}$  é o conjunto de placas e  $E = \{1, \dots, m\}$  é o conjunto das possíveis trocas de placas, e  $c_{ij}$ , o custo para trocar o *setup* de um modelo  $i$  para  $j$ , o problema consiste em localizar o menor ciclo hamiltoniano do grafo  $G$ . A função objetivo considerada pode ser interpretada como a minimização do somatório dos custos de troca dos componentes entre as placas.

## 3. Resultados

Os resultados foram obtidos através da execução e análise dos algoritmos descritos. Os programas recebiam de entrada a matriz de adjacências ponderada, representando as instâncias de teste. A saída é o custo total desta solução sendo o tempo total de *setup* no sequenciamento. Os gráficos de Gantt foram utilizados para comparação visual dos resultados de cada uma das técnicas utilizadas, Algoritmo Genético e MTS. No eixo horizontal, representa-se o tempo total da produção em uma dimensão arbitrária.

A Figura 1 demonstra as soluções obtidas através da instância clássica *Ulysses22*. Observa-se, no caso do MTS, como as melhores escolhas no curto prazo podem custar muito no longo prazo. Isto é claramente representado nas tarefas finais. Quando comparadas individualmente, as tarefas do AG demonstram redução de tempo em relação às soluções geradas pelo MTS. Caso o tempo fosse interpretado como minutos, por exemplo, o MTS sequenciaria esta produção em 178,18h. O AG, por sua vez, geraria uma sequência de placas em 121,31h. Significando uma redução de 31% no tempo da produção total.

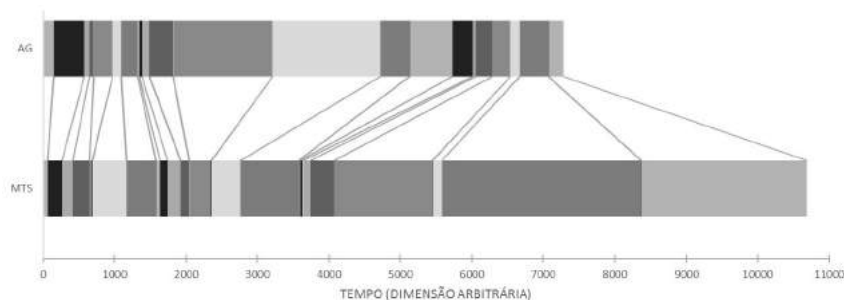
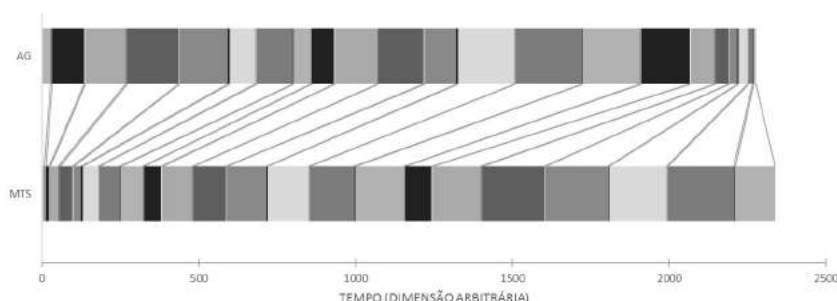


Figura 1. Gráfico de Gantt - Instância *Ulysses22*.

Esse comportamento também é observado nas outras instâncias de teste como, por exemplo, a J22, que representa o caso real da empresa em estudo (Figura 2). A

melhoria encontrada neste caso é de uma hora de produção entre as soluções obtida pelos algoritmos. Em termos de produção, uma hora pode representar uma boa contenção de gastos ao fim da linha de montagem. Esse tempo acumulado ao longo de uma semana ou um mês, certamente geraria para a empresa mais lucro e menos desperdício.



**Figura 2. Gráfico de Gantt - Instância J22.**

#### 4. Conclusão

Conforme os dados expostos na seção anterior, nota-se a importância da imersão de métodos computacionais na indústria como ferramenta auxiliadora na modelagem das linhas de produção e, conseqüentemente, na tomada de decisão pelo gestor. No estudo desenvolvido, ainda que a Regra de Liberação facilite, simplifique e padronize o sequenciamento aos olhos humanos, há uma grande possibilidade de que o algoritmo proposto pela Regra de Liberação produza um resultado distante ao ótimo, isso é, aumentando a ociosidade da máquina, como apresentado na Figura 1.

Por se tratar de uma instância real, inicialmente foram alcançados os valores base a fim de garantir a otimização dos algoritmos propostos (Figura 2). Após isto, foram realizadas novas implementações que permitiram aumentar a quantidade de placas a serem sequenciadas. Dessa forma, se amplia a atuação do estudo aos casos reais da empresa através de técnicas escalonáveis, como é o caso do AG. Os trabalhos futuros visam aprimorar os testes com novas variações do AG em novas instâncias genuínas da empresa. Pode-se também pensar em prototipação de um sistema que permita uma melhor interação com o profissional da produção.

#### Referências

- de Lacerda, E. G. and de Carvalho, A. (1999). Introdução aos algoritmos genéticos. *Sistemas inteligentes: aplicações a recursos hídricos e ciências ambientais*, 1:99–148.
- Müller, F. M. and Dias, O. B. (2002). Algoritmo para o problema de sequenciamento em máquinas paralelas não-relacionadas. *Revista Produção*, 12(2):7.
- Pacheco, R. F. and Santoro, M. C. (2001). A adoção de modelos de scheduling no brasil: deficiências do processo de escolha. *Gestão & Produção*, 8(2):128–138.
- Subramanian, A., Battarra, M., and Potts, C. N. (2014). An iterated local search heuristic for the single machine total weighted tardiness scheduling problem with sequence-dependent setup times. *International Journal of Production Research*.
- SUFRAMA (2015). Modelo Zona Franca de Manaus. Disponível em: [www.suframa.gov.br/zfm\\_o\\_que\\_e\\_o\\_projeto\\_zfm.cfm](http://www.suframa.gov.br/zfm_o_que_e_o_projeto_zfm.cfm) Acessado em Março de 2017.