57º SBPO
SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL
Gramado • RS
DE 5 A 9 DE OUTUBRO DE 2025

Simulação Integrada e Métodos Hierárquicos Aplicados à implementação do *Lean* em Sistemas de Produção

Walther Azzolini Júnior
Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, SP, Brasil
Av. Trab. São Carlense, 400 - Parque Arnold Schimidt, São Carlos - SP, 13566-590
wazzolini@sc.usp.br

Carlos Henrique dos Santos
Universidade Federal de Alfenas (Unifal), Poços de Caldas, MG, Brasil
Rodovia José Aurélio Vilela,BR 267, Km 533 11999 - Cidade Universitária, MG, 37715-400
carlos.henrique@unifal-mg.edu.br

André Luiz Romano
Universidade Federal de Alfenas (Unifal), Poços de Caldas, MG, Brasil
Rodovia José Aurélio Vilela,BR 267, Km 533 11999 - Cidade Universitária, MG, 37715-400
andre.romano@unifal-mg.edu.br

Adrieli da Silva Caires
Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, SP, Brasil
Av. Trab. São Carlense, 400 - Parque Arnold Schimidt, São Carlos - SP, 13566-590
adrieli.scaires@usp.br

RESUMO

Este estudo desenvolve e implementa uma ferramenta para apoiar práticas Lean por meio de simulação integrada a uma abordagem hierárquica, utilizando os algoritmos de More-Hodgson e Algoritmo Genético (GA). A abordagem avalia o impacto das práticas Lean no desempenho de um sistema de manufatura têxtil, com foco no manuseio de materiais e no tempo de setup. A Simulação de Eventos Discretos (SED) é utilizada para testar cenários, otimizar decisões e avaliar melhorias. Integrada a métodos hierárquicos e ao GA, a SED auxilia no direcionamento do sequenciamento da produção, com o objetivo de reduzir os tempos de espera e de setup. Aplicada em um estudo de caso em uma fábrica de embalagens de ráfia, a ferramenta otimiza as decisões de gestão operacional ao introduzir novos equipamentos e estratégias de programação para melhorar os processos de manuseio de materiais e de setup.

PALAVRAS-CHAVE. Manufatura Enxuta, Simulação, Algoritmo de Moore-Hodgson.
Tópicos. SIM - Simulação

ABSTRACT

This study develops and implements a tool to support Lean practices through simulation integrated with a hierarchical approach, using the More-Hodgson algorithms and Genetic Algorithm (GA). The approach assesses the impact of Lean practices on the performance of a textile manufacturing system, focusing on material handling and setup time. Discrete Event Simulation (DES) is used to test scenarios, optimize decisions, and evaluate improvements. Integrated with hierarchical methods and GA, DES supports production sequences to reduce waiting and setup times. Applied in a case study at a raffia packaging factory, the tool optimizes operational management decisions by introducing new equipment and scheduling strategies to improve material handling and setup processes.

KEYWORDS. Lean Manufacturing, Simulation, Moore-Hodgson Algorithm.
Paper topics. SIM - Simulation

https://proceedings.science/p/212561?lang=pt-br

1. Introdução

A Filosofia *Lean* tem sido fundamental para tornar processos produtivos mais eficientes, ao priorizar a eliminação de desperdícios e a melhoria dos fluxos. Neste caso, a implementação deve sempre considerar as necessidades dos clientes como foco central [Tortorella e Fettermann 2018]. Neste contexto, a simulação surge como uma aliada valiosa, permitindo testar e prever os efeitos de soluções antes, durante e após sua aplicação. Diante de múltiplos objetivos e conflitos inerentes à implementação do *Lean*, a simulação oferece suporte relevante na previsão de efeitos sistêmicos [Zarrin e Azadeh 2017].

O presente estudo desenvolve e aplica uma ferramenta para apoiar a implementação do *Lean* por meio da simulação, integrando-a a uma abordagem hierárquica com os algoritmos de More-Hodgson e Algoritmo Genético (GA). O objetivo é avaliar os impactos de práticas *Lean* em um sistema real de manufatura têxtil, com foco em manuseio de materiais e tempo de preparação. A Simulação de Eventos Discretos (SED) é utilizada para testar cenários, otimizar decisões e propor melhorias, orientando o planejamento da produção para reduzir tempos de espera e preparação.

2. Método

A abordagem proposta foi estruturada em três etapas: (i) Definição de escopo e objetivos; (ii) Implementação das ações; (iii) Avaliação dos resultados (Figura 1).

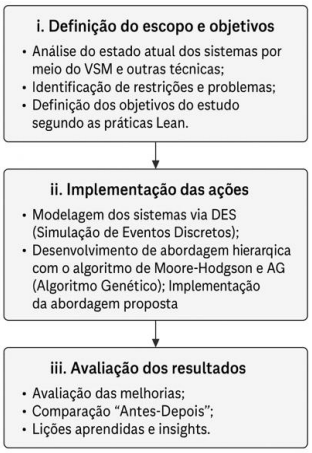


Figura 1 – Estrutura em três etapas para orientar a aplicação da abordagem

Como não é viável aplicar melhorias em todas as etapas produtivas, utilizou-se o *Value Stream Mapping* (VSM) para identificar os pontos críticos do processo. O VSM é uma ferramenta Lean amplamente empregada para mapear fluxos de materiais e informações, permitindo detectar atividades críticas e suas ineficiências [Jasti e Kodali 2015]. A partir disso, definiram-se os objetivos com base nos princípios do *Lean*.

Na fase de implementação, os processos foram modelados por meio da SED, com foco em representar virtualmente os fluxos e apoiar decisões. A modelagem envolve desde a coleta de dados até a validação computacional [Montevechi et al. 2015]. Como a abordagem visa o planejamento da produção, a SED foi integrada a uma estratégia hierárquica baseada nos algoritmos de Moore-Hodgson e Algoritmo Genético (GA).

O planejamento da produção foi dividido em duas etapas [Tian et al. 2023]:

1. Programação ao receber pedidos: utilizou o algoritmo de Moore-Hodgson para priorizar ordens com menor prazo.
2. Programação na impressão: aplicou-se o GA para otimizar a sequência, considerando tempos de setup dependentes da ordem.

3. Resultados e discussões

O estudo foi realizado em uma planta têxtil brasileira de médio porte, com o objetivo de aplicar os conceitos *Lean* em uma linha de produção de embalagens de ráfia, utilizando SED integrada a uma abordagem hierárquica. Identificou-se que o principal gargalo está na impressão, o que direcionou o foco para os processos de laminação e impressão, com a análise da viabilidade de instalação de uma ponte rolante para transferir os rolos entre essas etapas. A Figura 2 apresenta o VSM da família 2, destacando os processos críticos de laminação e impressão *roll-to-roll*.

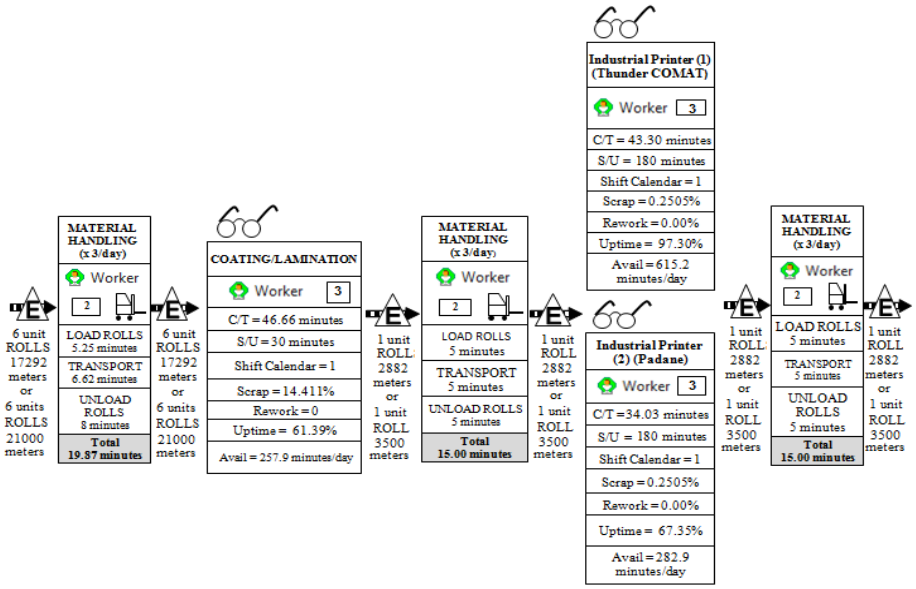


Figura 2- Mapa de Fluxo de Valor (VSM) da família 2, destacando os processos de *coating*/laminação e impressão *roll-to-roll*

O modelo de SED foi desenvolvido no *software* Plant Simulation®, conforme ilustrado na Figura 3. Essa figura representa o *layout* dos processos analisados, bem como os aspectos operacionais do fluxo produtivo.

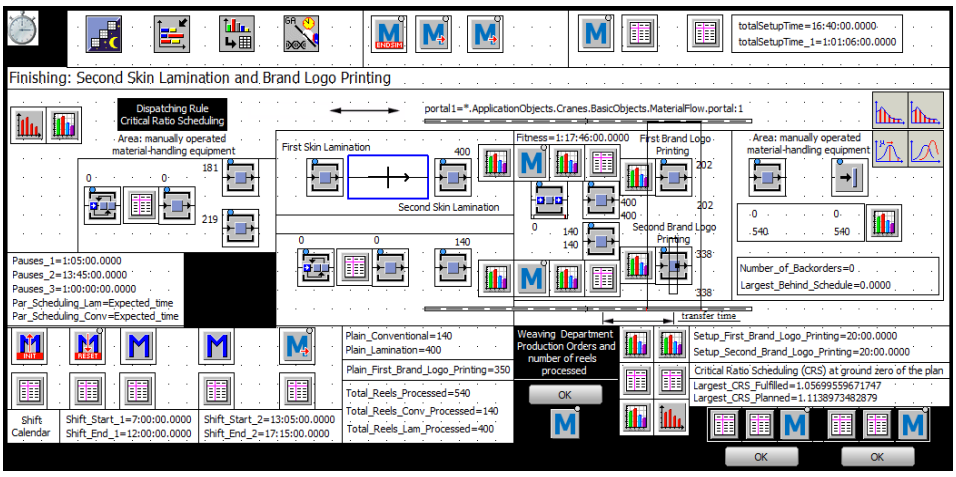


Figura 3- Modelo de simulação, contendo o layout dos processos de laminação e impressão

Os resultados dos experimentos (figura 4) demonstram um aumento no volume produzido com a aplicação das melhorias propostas, garantindo o atendimento à demanda sem comprometer os prazos de entrega. A análise dos tempos de movimentação revelou que, embora a média tenha se mantido estável, a instalação do pórtico ampliou significativamente a variação entre os tempos mínimo e máximo, o que favoreceu o aumento da frequência de abastecimento das impressoras.

No cenário 5, considerado o mais eficiente, também foi realizada uma análise específica dos tempos de setup das máquinas de impressão, conforme ilustrado na Figura 5.

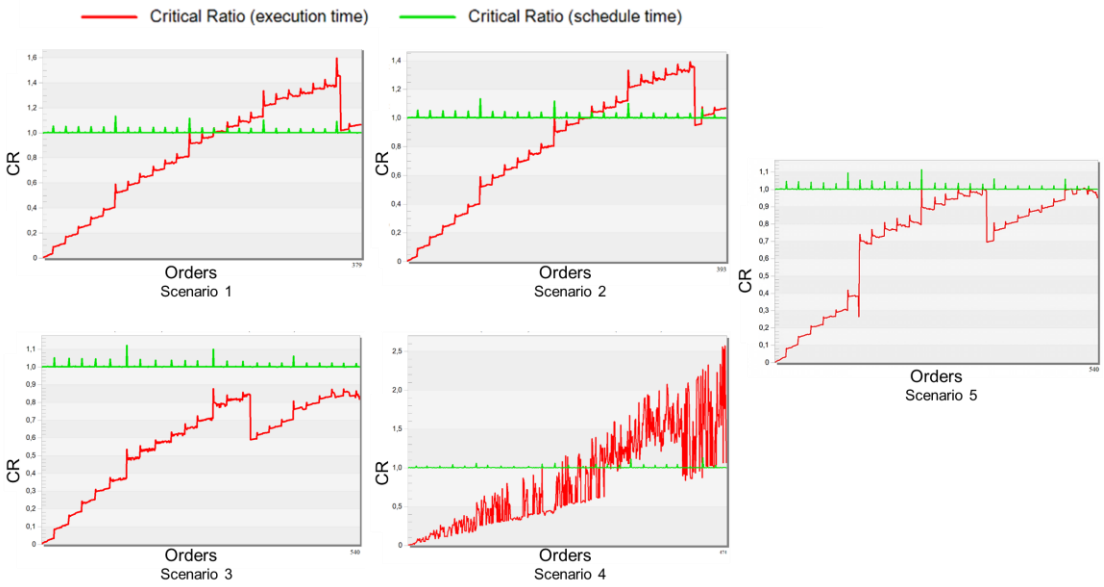


Figura 4- Índice Crítico (*Critical Ratio*) para os cenários avaliados.

O estudo demonstra que as medidas propostas contribuem tanto para a literatura em gestão de operações quanto para práticas avançadas em otimização de processos e gestão da cadeia de suprimentos.

6. Agradecimentos

Agradecemos ao CNPq, CAPES, FAPESP e FAPEMIG, bem como à empresa objeto deste estudo, pelo apoio a esta pesquisa.

Referências

Jasti, N. V. K. e Kodali, R. (2015). Lean production: Literature review and trends. International Journal of Production Research, 53(3), 867–885.

Montevechi, J. A. B. et al. (2015). Identification of main methods used in simulation projects. In Anais do Winter Simulation Conference (WSC), 3469–3480.

Tian, Y. et al. (2023). A Multi-Objective Optimization Method for Flexible Job Shop Scheduling Considering Cutting-Tool Degradation with Energy-Saving Measures. Mathematics, 11(2).

Tortorella, G. e Fetterman, D. (2018). Implementation of industry 4.0 and lean production in Brazilian manufacturing companies. Internat Journal of Production Research, 56(8), 2975–2987.

Zarrin, M. e Azadeh, A. (2017). Simulation optimization of lean production strategy by considering resilience engineering in a production system with maintenance policies. Simulation, 93(1), 49–68.