LII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional
João Pessoa - PB, 3 a 5 de novembro de 2020

Um Mapeamento Sistemático sobre Aplicações do Escalonamento Just-in-Time na Indústria de Processos Produtivos

[1]**Luis Carlos Oliveira,** [1]**Odette Passos,** [2]**Rosiane de Freitas,** [1]**Rainer Amorim**
Universidade Federal do Amazonas: [1]Inst. de Ciências Exatas e Tecnologia, [2]Inst. de Computação
[1]Rua Nossa Senhora do Rosário, 3863, Tiradentes, Itacoatiara-AM, Brasil, CEP 69103-128
[2]Av. Rodrigo Otávio - 6.200, Campus Universitário, Manaus - AM - CEP 69080-900
lu.ca.oliveira41@gmail.com, odette@ufam.edu.br, rosiane@icomp.ufam.edu.br, raineramorim@ufam.edu.br

RESUMO

O estudo teórico e prático envolvendo problemas de escalonamento de tarefas vem crescendo a cada dia. Dentre estes, destacam-se a otimização na indústria de processos produtivos, onde a produção de itens é realizada de acordo com a demanda, sem custos de estoque de matérias-primas e itens produzidos, mantendo-se um fluxo contínuo de produção e sem atraso nas entregas, conhecida na literatura como Just-in-Time. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo levantar as aplicações existentes do Escalonamento Just-in-Time e estratégias algorítmicas para as variações do problema com diferentes ambientes de processamento e restrições para fins de comparação com a literatura. O método adotado consistiu em um estudo secundário denominado Mapeamento Sistemático para identificar as aplicações. Como resultado foram identificadas 13 aplicações na indústria produtiva, incluindo estudos de caso e teóricos envolvendo formulações matemáticas, estratégias exatas e heurísticas/meta-heurísticas. No que diz respeito as instâncias de teste, a maioria é baseada em dados do estudo de caso realizado e, nos estudos teóricos, os autores utilizam instâncias de teste aleatoriamente geradas e/ou Benchmarks, nos mais diversos ambientes de processamento.

PALAVRAS CHAVE. Escalonamento Just-in-Time, Aplicações do Escalonamento de Tarefas, Indústria Produtiva.

Tópicos: POI - PO na Indústria. OC - Otimização Combinatória.

ABSTRACT

The theoretical and practical study involving scheduling problems is growing every day. Among these, we highlight the optimization in production process industry, where the production of items is carried out according to demand, without costs of stock of raw materials and produced items, maintaining a continuous production flow and without delay in deliveries, which is known in the literature as Just-in-Time. In this context, this work aims to raise the existing applications of Just-in-Time Scheduling and algorithmic strategies for the problem variations with different processing environments and constraints for comparison with the literature. The adopted method consists of a secondary study called Systematic Mapping in order to identify the applications. As a result, 13 applications in the manufacturing industry were identified, including theoretical and case studies involving mathematical formulations, exact strategies and heuristics/metaheuristics. Regarding the test instances, most of them are based on data from the carried out case studies and, in theoretical studies, the authors used randomly generated test instances and/or Benchmarks, in the most diverse processing environments.

KEYWORDS. Just-in-Time Scheduling. Scheduling Applications. Productive Industry.

Paper Topics: ORI - OR in Industry. CO - Combinatorial Optimization.

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

1. Introdução

A problemática a respeito de escalonamentos de tarefas apresenta grande relevância pois possui uma grande aplicabilidade, tanto em termos teóricos quanto práticos, este fato acaba gerando um grande número de possibilidades sobre como os modelos de escalonamento e otimização são construídos. Por isso, existe na literatura um vasto material sobre o assunto com inúmeras classes de complexidade com diferentes características, condições de execução, restrições e ambientes de processamento [6].

Esta vertente se destacou pela grande representatividade de situações reais, além de estar associado a grandes complexidades teóricas. É possível ainda, destacar o estudo de problemas de escalonamento que consideram simultaneamente penalidades de antecipação e atraso na execução de tarefas, o qual foi motivado pela adoção nas industrias de processamento produtivos com o conceito de produção sem folga [11].

A ideia de produção sem folga ficou conhecida como Just-in-Time (JIT), tal termo surgiu no Japão na década de 70, na indústria automotiva, onde se buscava um sistema em que fosse possível coordenar uma determinada produção com a sua demanda específica e com o menor tempo de atraso possível. A abordagem Just-in-Time, tem como objetivo a melhoria do processo produtivo e fluxo de manufatura, eliminação de estoques e desperdícios [21], [15].

Neste contexto, esta pesquisa visa o estudo de aplicações e variações do problema de escalonamento Just-in-Time. Tal problema é formalizado como segue: seja $J = 1,...,n$ um conjunto de tarefas que podem ser processadas em um ambiente monoprocessado ou em um conjunto de máquinas paralelas idênticas $M = 1,...,m$, sem preempção. Cada tarefa deve ser processada em uma das máquinas, sendo que todas as tarefas devem ser processadas. Cada tarefa j possui um tempo de processamento positivo (processing time) p_j, um prazo de término sugerido (*due date*) d_j e um peso positivo (*weight*) w_j [6].

A antecipação de uma tarefa j é definida como $E_j = max\{0, d_j - C_j\}$, por outro lado, o atraso de uma tarefa j é definido como $T_j = max\{0, C_j - d_j\}$, onde C_j é o tempo de completude de cada tarefa [4]. O objetivo é minimizar $\sum \alpha_j E_j + \sum \beta_j T_j$, onde α_j é a penalidade aplicada a antecipação e β_j é a penalidade de atraso.

A metodologia de pesquisa adotada neste trabalho, para coletar as informações de forma a cumprir o objetivo, está fundamentada nos princípios da Engenharia de Software Experimental que se baseia na condução de um estudo secundário: Mapeamento Sistemático (MS). O MS fornece uma visão geral de uma área de pesquisa, identificando a quantidade, os tipos de pesquisas realizadas, os resultados disponíveis, além das frequências de publicações ao longo do tempo para identificar tendências [22].

Assim, objetivo deste trabalho é levantar as aplicações existentes do escalonamento Just-in-Time e algoritmos baseados em meta-heurísticas para as variações do problema com diferentes ambientes de processamento e restrições para fins de comparação com a literatura.

Este artigo está organizado da seguinte forma: além desta introdução, ele é formado por outras três seções. A Seção 2 apresenta as principais aplicações JIT existentes. Seção 3 descreve a metodologia utilizada para a condução do Mapeamento Sistemático. A Seção 4 apresenta a discussão e comparação dos resultados obtidos a partir do Mapeamento Sistemático. Por fim, as considerações finais são discutidas na Seção 5.

2. Aplicações da filosofia Just-in-Time

A necessidade de estruturas produtivas mais otimizadas, abre espaço para a aplicação do modelo *Just-in-Time* em diversos cenários, com um objetivo de diminuir custos e melhorar a produção. O trabalho apresentado por Ludwig et al. [16] demonstra a inserção do modelo JIT em

uma indústria moveleira especializada em produtos residenciais, a qual tem uma média de produção em torno de 1600 peças, a adaptação do setor produtivo para um fluxo baseado em demanda favoreceu a redução de 38 a 53% para os produtos analisados.

A variação nos diferentes níveis a respeito da redução de estoque demonstrado por Ludwig et al. [16] é diretamente relacionada ao tempo demandado para a reposição de material pelo referente fornecedor, onde fornecedores com maior tempo de entrega devem ser analisados para ajuste de tamanho do estoque. Outra aplicação industrial com grande destaque é a demonstrada por Dimario et al. [7], onde um estudo de caso é aplicado em uma grande montadora de motocicletas que variam de 50 a 450 cilindradas.

Avaliando o modelo produtivo, as principais características apontadas por Dimario et al. [7], demonstram o fluxo de fabricação como algo estruturado em atividades manuais estabelecidas por meio da sequência de montagem lógica estabelecida, com variações temporais muito baixas. Tais características podem ser diretamente associadas com a inserção do modelo *Just-in-Time* na maneira como a empresa estrutura sua produção, dado que pode ser visto uma semelhança nas características produtivas na empresa estudada por Moraes e Nogueira [18], que também é caracterizada pela montagem de motocicletas.

A Figura 1 apresenta uma aplicação do conceito JIT, muito utilizada na Moto Honda da Amazônia, a principal empresa do polo de duas rodas, dentre os vinte polos de produção do distrito industrial da Zona Franca de Manaus - ZFM. Pois a empresa necessita que os produtos sejam fabricados ou entregues a tempo de serem montados, para assim atender aos mercados nacional e internacional [18].

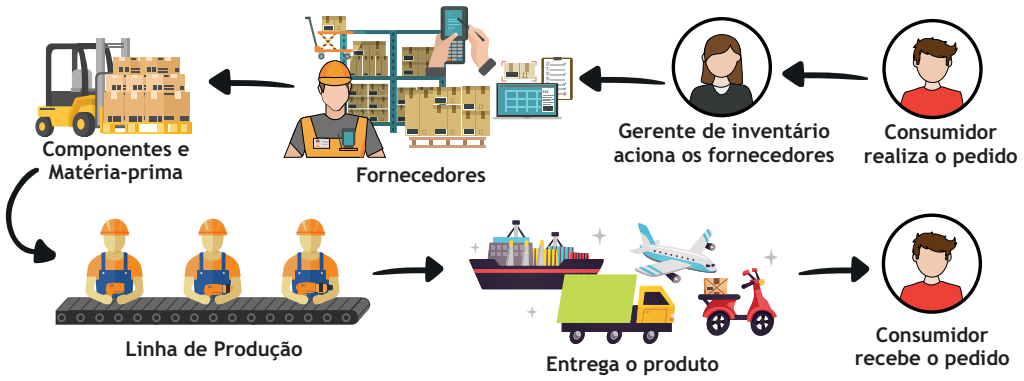


Figura 1: Funcionamento do Paradigma Just-in-Time na Indústria de Processos Produtivos.

Além da indústria automotiva, o fluxo apresentado na Figura 1, do conceito JIT, é aplicado na indústria de confecções, conforme mostra um estudo de caso de Santiago et al. [23]. As aplicações JIT também foram implantadas no varejo, de acordo com o trabalho de Minadeo [17], este tipo de aplicação se popularizou nos anos 80, devido à evolução da Tecnologia da Informação, este tipo de aplicação deve lidar, principalmente, com custos e manutenção de estoques, como: espaço ocupado e obsolência e/ou perecibilidade dos produtos.

3. Mapeamento Sistemático sobre Aplicações do Escalonamento Just-in-Time

A inserção do MS segue orientações definidas por Kitchenham e Charters [12], onde se tem a definição de três etapas essenciais, a primeira delas é o planejamento, nessa etapa são definidos os objetivos da pesquisa, de forma que se possa definir o protocolo, a segunda etapa é referente a execução da operação especificada durante a primeira etapa, bem como a especificação das fontes

de busca para a identificação e seleção de trabalhos de acordo com critérios definidos no protocolo, na terceira e última etapa os dados levantados durante a execução são extraídos e sintetizados para melhor entendimento dos dados avaliados.

3.1. Planejamento do Mapeamento Sistemático

Na etapa de Planejamento do Mapeamento Sistemático foi definido o protocolo de pesquisa, que consiste em definir o objetivo do estudo, especificar as questões da pesquisa, formular a expressão de busca, além de mencionar os procedimentos de extração dos dados e os critérios de seleção de cada publicação.

Sendo assim, este MS buscou respostas para as seguintes questões de pesquisa (QP): **QP1**: Quais são as aplicações do escalonamento Just-in-Time já implantadas no setor industrial e pesquisas correlatas?; **QP2**: Quais são as estratégias algorítmicas propostas juntamente com instâncias de teste e resultados de experimentos computacionais apresentados na literatura?. Esta QP2 subdivide-se em mais duas questões de pesquisa, que são: **QP2.1** - Quais dessas estratégias algorítmicas e instâncias de teste foram propostas para as aplicações do paradigma Just-in-Time levantadas? e **QP2.2**: Quais dessas pesquisas realizadas são instâncias de *Benchmark*?

3.1.1. Fontes de Pesquisa e *String* de Busca

Para a realização do levantamento de dados de maneira eficiente, foi estabelecido as bases de conhecimento a serem consultadas para a identificação de trabalhos que correspondem à área de pesquisa abordada no MS, dessa maneira foi estabelecido que a busca manual será realizada nos anais das conferências nacionais relacionadas à Pesquisa Operacional: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO) e Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação (SBSI).

A busca foi restringida usando-se palavras-chave específicas para encontrar as publicações de interesse. A expressão de busca foi definida de acordo com dois dos quatro aspectos indicados em Petersen et al. [22]: População e Intervenção, definidas da seguinte forma:

Para investigação por expressão de busca (para a consulta das bases foi adicionado o conectivo lógico AND entre a População e Intervenção):

- **População:** Publicações que fazem referência a escalonamento de tarefas, escalonamento de tarefas com penalidades de antecipação e atraso, aplicação Just-in-Time.
  - **Palavras-chave**: "Just-in-Time" OR "Just-in-Time Scheduling" OR "JIT Scheduling" OR "JIT Applications"OR "Just-in-Time Applications" OR "Earliness-Tardiness Scheduling"
- **Intervenção:** Publicações que fazem referência a experimentos computacionais com JIT, soluções algorítmicas utilizando a abordagem JIT, propostas de melhorias algorítmicas da abordagem JIT, experimentos computacionais ou aplicações do mundo real.
  - **Palavras-chave**: "Computational Experiments" OR "Algorithm" OR "meta-heuristic" OR "heuristic" OR "benchmark" OR "benchmark instances" OR "test instances"

Os locais de busca definidos para esta pesquisa serão feitos no Google Acadêmico, anais de conferências da Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional (SOBRAPO), que possui relação com o tema a ser pesquisado e bibliotecas digitais, conforme listados a seguir:

1. **Anais de conferências:** Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO), Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), Latin-Iberoamerican Conference on Operations Research (CLAIO), Conferência Latino-Americana de Informática - Latin American Symposium on Operations Research and Artificial Intelligence (CLEI/SLIOIA).

2. **Bibliotecas digitais:** Scopus (`http://www.scopus.com`), IEEE Xplore Digital Library (`http://ieeexplore.ieee.org`).

3.1.2. Critérios para Inclusão de Trabalhos

A primeira restrição estabelecida no protocolo do mapeamento é referente a datas dos trabalhos analisados, os quais serão selecionados apenas se apresentar dada de publicação a partir do ano de 2015. A partir deste ponto, são avaliados os seguintes passos para a seleção de trabalhos:

- Busca preliminar das publicações coletadas nas fontes definidas;
- **Primeiro critério de Seleção:** por meio de análise do título, o resumo e as palavras-chave e aplicando o critério de seleção "CS1: que fazem referências a Escalonamento de Processos, Escalonamento de processos na indústria, Aplicações de operações Just-in-Time (e sinônimos)";
- **Segundo critério de seleção:** por meio da leitura completa das publicações e aplicando o critério de seleção "CS2: referência a escalonamento aplicado a indústria, aplicações Just-in-Time à indústria, estrategias algorítmicas, testes de algorítmicos baseados em JIT, instancias de *benchmark* e estrategias algorítmicas JIT".
- Publicações inacessíveis, indisponíveis na internet, que apresentem informações muito próximas a outras publicações ou que fujam do tema buscado são descartadas.

3.2. Condução do Mapeamento Sistemático e Publicação dos Resultados

A etapa de condução do mapeamento sistemático se deu nos meses de Dezembro de 2019 a Fevereiro de 2020, selecionando publicações que se adéquem aos filtros de busca definidos durante a etapa de planejamento. Trabalhos resultantes que não estiverem acessíveis, fujam do tema, não estejam nos idiomas definidos são automaticamente retirados da base de análise.

A busca manual foi realizada nos anais da SBPO e ENEGEP, sendo as buscas automáticas realizadas nos portais da *IEEE* e *Scopus*, tendo como foco materiais que apresentam data de publicação entre os anos de 2015 a 2019, mas para os anais de evento foram considerados os anos de 2010 a 2019, por conta do quantitativo de trabalhos encontrados.

Com a realização da busca, foram selecionados 6 artigos da SBPO, 7 artigos do ENEGEP, 7 do CLEI/SLIOIA, 2 do CLAIO, 394 artigos da *Scopus* e 117 na *IEEE*. Após a realização do primeiro filtro, foram selecionados 102 artigos, para a realização de uma leitura na integra para averiguação mais específica dos dados, a partir disso forma selecionados 13 artigos (sendo 09 da Scopus, 02 do IEEE, 01 do Enegep e 01 do CLEI/SLIOIA), os quais serão utilizados para o preenchimento do formulário de extração de dados[1] e são apresentados na Tabela 1 .

4. Discussões de resultados

A ultima etapa do Mapeamento Sistemático é referente a analise dos dados coletados durante a busca automática, aos dados sintetizados são demonstrados nas subseções a seguir.

4.1. Análise e Discussões da QP1

Com relação à primeira questão de pesquisa "Quais são as aplicações do escalonamento Just-in-Time já implantadas no setor industrial e pesquisas correlatas?", a maior parte das aplicações identificadas estão relacionadas a indústria produtiva, conforme pode ser visualizado a seguir na Tabela 2.

A coleta dos dados neste MS permitiu a análise e identificação de como o paradigma JIT pode ser aplicado em diversas abordagens, sendo que muitos trabalhos não tinham relação com escalonamento de tarefas, mas tinham outras abordagens, incluindo desde aprendizagem de

[1] Disponível em: http://infoicet.ufam.edu.br/relatorio/SBPO2020-ETSched-LuisCarlos.pdf

máquina até estudos de caso na área de Administração de Empresas e Engenharia de Produção. Esta primeira questão de pesquisa, focou principalmente em aplicações Just-in-Time com foco em escalonamento de tarefas. Dentre as aplicações identificadas, a otimização de processos produtivos é a mais citada, tal fato pode ser justificado pela grande preocupação em se realizar estudos de casos e simulações baseadas em ambientes reais, com o intuito de obter dados que reforcem melhorias na prestação de serviços aos clientes.

Tabela 1: Lista de trabalhos selecionados

ID	Título	Referência
[P01]	A bi-layer optimization approach for a hybrid flow shop scheduling problem involving controllable processing times in the steelmaking industry	Jiang et al. [10] (SCOPUS)
[P02]	A dynamic control approach for energy-efficient production scheduling on a single machine under time varying electricity pricing	Lee et al. [14] (SCOPUS)
[P03]	A multiproduct single machine economic production quantity (EPQ) inventory model with discrete delivery order, joint production policy and budget constraints	Nobil et al. [20] (SCOPUS)
[P04]	Differential evolution and Population-based simulated annealing for truck scheduling problem in multiple door cross-docking systems	Assadi e Bagheri [3] (SCOPUS)
[P05]	Mixed-model sequencing problem under capacity and machine idle time constraints in JIT production systems	Abdul Nazar e Madhusudanan Pillai [1] (SCOPUS)
[P06]	Optimal single-machine batch scheduling for the manufacture, transportation and JIT assembly of precast construction with changeover costs within due dates	Kong et al. [13] (SCOPUS)
[P07]	Genetic Algorithm for Generalized Resource Constrained Multi Project Scheduling Problem Integrated with Closed Loop Supply Chain Planning	Tayyar et al. [24] (SCOPUS)
[P08]	Resource planning for just-in-time make-to-order environments: A scalable methodology using tabu search	Moses e Sangplung [19] (SCOPUS)
[P09]	Scheduling Single-Machine Problem Oriented by Just-In-Time Principles - A Case Study	Dantas et al. [5] (SCOPUS)
[P10]	Decoder-based Evolutionary Algorithm for bi-objective Just-in-Time Single-Machine Job-shop	Jacquin et al. [9] (IEEE)
[P11]	Multi-objective optimization for Periodic Preventive Maintenance	Zade et al. [25] (IEEE)
[P12]	Otimização do sequenciamento de produção com abordagem just-in-time e tempos de setup dependentes da sequência em uma usina siderúrgica	Domingues et al. [8] (ENEGEP)
[P13]	Solving Large Instances Applying Meta-heuristics for Classical Parallel Machine Scheduling Problems Under Tardiness and Earliness Penalties	Amorim et al. [2] (CLEI/SLIOIA)

A variedade de possibilidades envolvendo a otimização de cadeia produtiva pode ser visto ao analisar os trabalhos de Lee et al. [14] e Jiang et al. [10]. No primeiro caso, o autor tem como temática da abordagem a otimização de uma cadeia produtiva por meio de analises e simulações que utilizam as variações de taxas de consumo elétrico com base no período de tempo ativo, tendo com essa premissa, um problema de minimização da antecipação e atraso com custo adicional de consumo de energia, onde as máquinas devem estar disponíveis no instante 0 e não podem sofrer de preempção.

Aplicando este comportamento ao algoritmo proposto pelo autor (*dynamic idle time and arrival time control - DIATC*), é identificável a realização de um processo que priorizou a alocação de tarefas em espaços de tempo em que o custo por KW/h era menor, tendo assim uma diminuição de 81% do tempo ocioso e de 63 a 100% do custo do consumo de energia em relação a outras soluções obtidas a partir de uma formulação matemática proposta para o problema.

O segundo trabalho destacado para essa abordagem, foi elaborado por Jiang et al. [10] e aborda a organização do processo de fundição de aço continuo (SCC) baseando-se em dados vindos de uma fábrica real que aborda o método de fundição contínua de aço para aumentar a produtividade,

reduzir custos e estabilizar cronogramas de produção.

Abordando essa prática por meio de soluções algorítmicas, Jiang et al. [10] propõe um método de solução baseado em dois estágios: no primeiro deles é aplicado o algoritmo híbrido de evolução diferencial combinado com uma busca baseada em decomposição de vizinhança variável no ambiente de máquinas paralelas; no segundo estágio, um algoritmo iterativo para o escalonamento em lista reversa é proposto para solucionar os subproblemas remanescentes. Esta abordagem é baseada em estudos teóricos com variáveis oriundas de ambientes reais, estudos com essa abordagem se estruturam em análises e construções algorítmicas com foco central na organização e disposição de tarefas em uma cadeia produtivas.

Tabela 2: Lista de Aplicações Identificadas

ID	Aplicação	*PIM*	*PNLIM*	*Exato*	*Heurística/Meta-heurística*
[P01]	Indústria Produtiva (Siderúrgica, ambiente *flow shop*)	✓			✓
[P02]	Redução do Consumo de Energia		✓		✓
[P03]	Planejamento e Controle de Estoque e de Produção		✓	✓	✓
[P04]	Escalonamento de Caminhões (fluxo de entrega no prazo)	✓			✓
[P05]	Otimização da Linha de Produção	✓		✓	
[P06]	Otimização da Linha de Produção	✓		✓	
[P07]	Escalonamento simultâneo de múltiplos projetos e um modelo de planejamento de cadeia de suprimentos	✓		✓	✓
[P08]	Planejamento de recursos em sistemas de produção sob encomenda com vários recursos	✓		✓	✓
[P09]	Otimização da Linha de Produção				✓
[P10]	Otimização da Linha de Produção				✓
[P11]	Otimização da Linha de Produção	✓			✓
[P12]	Otimização da Linha de Produção (linha de rosqueamento de tubos de aço sem costura)	✓		✓	
[P13]	Planejamento e Controle de Estoque e de Produção				✓

Para a realização de testes, foram extraídos dados oriundos de duas instalações siderúrgicas devido a quantidade extremamente pequena do número de pesquisas sobre o modelo abordado em Jiang et al. [10]. Tendo assim de 6 a 10 números de lotes com 5 a 10 tarefas cada, sendo um número mínimo de 30 instâncias.

Outras aplicações interessantes identificadas, podem ser consultadas nos trabalhos de Tayyar et al. [24] e Jacquin et al. [9], onde o primeiro aborda a possibilidade de organizar múltiplos projetos em uma empresa, levando em conta a existência de recursos limitados a serem aplicados (sejam eles renováveis ou não), definindo assim como TCPSP (Programação de Projeto com Tempo Limitado), onde fica estabelecida a inserção de recursos adicionais para garantir o cumprimento de prazos, evitando assim a existência de custos de penalidade que podem ser maiores que a adição de recursos.

A abordagem apresentada por Tayyar et al. [24] ainda ressalta o objetivo de escalonar projetos, os quais apresentam atividades com características relacionadas a duração e custo, que devem ser levadas em consideração durante a elaboração do planejamento, o qual é elaborada por meio

de uma algoritmo genético. Os experimentos computacionais para essa abordagem demonstram a eficiência mesmo que com baixa população, de organizar o planejamento de projetos, gerenciando os recursos necessário para a realização eficiente.

Já o segundo citado, Jacquin et al. [9] apresenta técnicas de decodificação para resolução de problemas existentes em um contexto de escalonamento no ambiente *job shop* - (*JSP*), o qual apresenta uma grande abordagem acadêmica, sendo aplicado no estudo a variação contendo o modelo de *JSP* com dois objetivos. Tendo três algoritmos desenvolvidos para solucionar a abordagem, sendo um algoritmo genético denominado NSGA-II e as demais são abordagens híbridas do algoritmo HGSA-II com temporização, todas voltadas para a resolução de um algorítimo *Just in Time - Job Shop Problem*.

Para a validação das hipóteses, o autor realiza testes para fins comparativos entre as soluções abordadas, aplicando instâncias disponíveis em repositório online, analisando bases com 60, 120, 180, 240 e 300 tarefas. A partir da definição de parâmetros e execução de testes, em um ambiente com 2 x Processadores Intel Pentium 2GHz, os dados foram analisados por meio da ferramenta de analise estatística R [9].

As diferenças entre o NSGA-II e o NSGA-II com decodificador (DNSGA-II), demonstra que o DNSGA-II apresentou melhores resultados em instâncias maiores,onde a solução integrada com o decodificador baseado no método de soma ponderada tem melhor desempenho em maiores instâncias, enquanto que o segundo modelo de decodificador (Aneja-Nair) demonstra um tempo de processamento elevado causado pela variação do numero máximo de iterações realizadas [9].

A abordagem a respeito do "controle de qualidade de riscos"apresentou dois principais aspectos, a análise de produção com o intuito de reduzir riscos e determinar pontos de manutenção preventiva e a análise de produção com o intuito de melhorar a qualidade do produto trabalhado, onde em ambos os casos se tem um estudo sobre pontos negativos diretos ou indiretos dentro de uma "linha de fabricação", os quais são inseridos em simulações algorítmicas como variáveis adicionais.

4.2. Análise e Discussões da QP2

A segunda questão de pesquisa, aborda dados relacionados à instancias de testes identificadas nos trabalhos selecionados, bem como as estrategias algorítmicas apresentadas. A respeito das instâncias de teste abordadas, os trabalhos identificados foram analisados e as categorias de dados são apresentados na Tabela 3.

Dentre as aplicações identificadas, e resumidas na Tabela 3, a maioria eram sobre trabalhos nas áreas de Administração, Inteligência Artificial e outros estudos que, necessariamente, não tinham relação escalonamento de tarefas. Os trabalhos selecionados, em sua maioria, aplicam o estudo teórico em uma situação real, sendo que, a maioria são em casos da indústria. Outras publicações citam possíveis aplicações em uma situação real, e realizam estudos teóricos.

Os trabalhos que aplicaram o ferramental teórico sobre escalonamento de tarefas em uma situação prática, pode-se destacar os trabalhos de Jiang et al. [10], Lee et al. [14], Assadi e Bagheri [3], Abdul Nazar e Madhusudanan Pillai [1], Kong et al. [13], Tayyar et al. [24], Moses e Sangplung [19] e Domingues et al. [8]. As publicações que envolvem estudos teóricos com experimentos computacionais, destacam-se os trabalhos de Nobil et al. [20], Dantas et al. [5], Jacquin et al. [9], Zade et al. [25] e Amorim et al. [2].

Outra particularidade dos trabalhos que possuem aplicações práticas são a grande quantidade de restrições e características do problema de escalonamento aplicado, como por exemplo, lote de tarefas em Jiang et al. [10], Nobil et al. [20] e Abdul Nazar e Madhusudanan Pillai [1]; Flow-shop em Jiang et al. [10] e Domingues et al. [8]; Job-shop em Moses e Sangplung [19] e Jacquin et al. [9]; máquina única (*single machine*) em Lee et al. [14], Nobil et al. [20], Abdul Nazar

e Madhusudanan Pillai [1], Kong et al. [13], Dantas et al. [5], Zade et al. [25] e máquinas paralelas idênticas em Amorim et al. [2]. A maioria das publicações identificadas, principalmente as que envolvem aplicações na indústria e correlatos, envolvem instâncias de tamanho menor, por outro lado, as publicações que envolvem estudos teóricos, consideram a utilização de instâncias de tamanho maior.

Tabela 3: Listagem de Problemas e Instâncias Identificadas

ID	Identificação do Problema	Tarefas	Ambiente	Instâncias
[P01]	$HF_n((P^{(i)})_{i=1}^{g})\|batch, setup, p_{g,j} = \overline{p}_{g,j} \cdot v\|\sum WT, \sum E/T, \sum AC$, onde $p_{i,j}$ é o tempo de processamento da tarefa j no iésimo estágio, WT é o tempo de espera, E/T são os custos de antecipação e atraso e AC é o custo total de ajuste da máquina	Lotes de até 10 tarefas	Flow-shop híbrido ou flexível	Instâncias geradas pelos autores
[P02]	$1\|\|\min C_j \sum_{j\in\Omega}(\sum_{t\in T} ts_{jt} + p_j - d_j)^2/n$	10 a 300 tarefas	Máquina única	Instâncias geradas pelos autores
[P03]	Modelagem matemática detalhada e estratégias de solução para o processo de compra e venda, considerando a quantidade de produção de vários itens e o ambiente de máquina única. Os produtos são entregues aos clientes em pequenos lotes	Pequenos Lotes de tarefas	Máquina única	Instâncias geradas pelos autores
[P04]	$[E\|r_j, t_{io}, Change\|\sum_{j=1}^{S} w_1 E_j + w_2 T_j]$ e $[E\|r_j, t_{io}, Change\|Makespan]$, onde E representa as múltiplas portas exclusivamente dedicadas às operações de entrada e saída, t_{io} é o tempo de transbordo dentro da estação, que depende das portas de entrada e saída	-	-	20 instâncias menores, da literatura, e 40 de tamanho maior, geradas pelos autores.
[P05]	Formulação Matemática para o Escalonamento de tarefas de modelos mistos (*mixed-model sequencing problems*) em sistemas de produção, onde os tempos de preparação (*setups*).	Lote de tarefas	Máquina única	Instâncias propostas pelos autores, baseadas em um estudo teórico de uma aplicação real
[P06]	Estudo baseado em manufatura, transporte e montagem de itens pré-fabricados, onde foi proposta uma formulação matemática para o escalonamento de tarefas em lotes, para o ambiente de uma máquina. Estudo aplicado em uma fábrica de pré-moldados, com o maior número de produtos possíveis, a estratégia de programação dinâmica proposta conseguiu melhorar a eficiência da produção de pré-moldados da fábrica que participou do estudo de caso	instâncias com até 20 tarefas, dividida em lotes	Máquina única	Instâncias de teste baseadas em um caso real da indústria
[P07]	Escalonamento simultâneo de múltiplos projetos, cada projeto é composto de um conjunto de atividades. Estas atividades são caracterizadas por sua hora de início mais cedo, hora de início mais tardia, tempo de processamento, data de término sugerida, demanda por recursos renováveis e/ou não-renováveis e taxa de geração de resíduos. Incluindo precedência entre as atividades, sem espera ou com espera. O modelo proposto define um plano de transporte de produção de modo a fornecer recursos aos locais de projetos no tempo determinado (Just-in-Time)	o número de atividades não foi informada	O número de máquinas não foi informado	Instâncias de teste baseadas em um caso real da indústria

Continua na próxima página

Tabela 3 – continuação da página anterior

ID	Identificação do Problema	Tarefas	Ambiente	Instâncias
[P08]	Seja um conjunto de I tarefas necessitam ser planejadas em um conjunto H de recursos. Onde um número de atividades é permitido para cada tarefa e um modelo de capacidade é utilizado. O problema é denotado como segue: $J\|P_{ij},L_{ij},S_i,R_{ij},B_{hk}\|\sum_{i=1}^{I}(C_i^eP_i^e+C_i^tP_i^t+C_i^lP_i^l)$, onde P_{ij} é tempo de processamento da atividade j da tarefa i, L_{ij} é o último instante de início da atividade j da tarefa i, S_i é a Data de disponibilidade da tarefa i, R_{ij} é a rota: índice do recurso da atividade j da tarefa i, B_{hk} é a capacidade do intervalo de tempo k do recurso h. $C_i^eP_i^e$, $C_i^tP_i^t$ e $C_i^lP_i^l$ são a antecipação, atraso e o tempo de espera, com as suas respectivas penalidades	5, 10 e 15 tarefas	Job-shop	Instâncias de teste baseadas em um caso real da indústria
[P09]	$1\|p_j,d_j\|Nt$, T_{max}, C_{max}, E_{max}, $\sum E_j$, E_{mean}, $\sum T_j$ e $\sum T_{mean}$, onde Nt é o número de tarefas tardias	-	Máquina Única	Estudo teórico com instâncias de teste pequenas
[P10]	$J\|r_i,D_i\|\sum\alpha_iE_i,\sum\beta_iT_i$	20, 40, 60, 80 e 100 tarefas	Job-shop	Instâncias da literatura [2]
[P11]	$1\|\|\sum(\alpha_iE_i+\beta_iT_i)$, $Makespan$	-	Máquina única	Instâncias da literatura
[P12]	$F\|s_{ij}\|\sum(\alpha_iE_i+\beta_iT_i)$	5 tarefas	Flow-shop	Instâncias de teste fornecidas pela empresa
[P13]	$P\|\|\sum w_jT_j$ e $P\|\|\sum\alpha_jE_j+\sum\beta_jT_j$	100 e 300 tarefas	2, 4, 10 e 20 máquinas paralelas idênticas	Instâncias adaptadas da literatura[3]

5. Conclusões e Trabalhos Futuros

A abstração de modelos algorítmicos para o mundo real permite a reorganização dos mais diversos contextos, de maneira que possam ser otimizados e sua cadeia produtiva possa ser executada de maneira mais eficiente e menos dispendiosa. Desta forma, este trabalho buscou levantar aplicações existentes da abordagem JIT e variações do problema. Para isso, foi utilizado um modelo de revisão da literatura baseado no Mapeamento Sistemático (MS), inicialmente utilizado e proposto para a área da Saúde e, hoje, é muito utilizado em Computação, especialmente na área de Engenharia de Software.

No Protocolo do MS (ou Planejamento do MS) é definido um formulário de extração de dados, onde são incluídos os principais campos de extração de dados. Assim, das aplicações em ambientes de produção para o modelo algoritmo estudado, pode-se dar destaque para o uso da estratégia para otimizar cadeias produtivas em diferentes cenários. O grande destaque para esta abordagem pode ser associada com a necessidade de analisar e melhorar diferentes processos encadeados, o que requisita a aplicação de análises e simulações, sendo elas complexas ou não.

Além das aplicações, para melhor entender como os métodos computacionais são inseridos em diferentes cenários, foi buscado por instâncias utilizadas e/ou criadas pelos trabalhos selecionados, neste ponto foi possível destacar o uso de instâncias retiradas de trabalhos anteriores e a não especificação de dados utilizados, esta segunda verificação pode ser associada às abordagens que analisam algoritmos junto a processos industriais sem realizar uma descrição mais detalhada do processo de preparação para simulações.

[2] http://www-poleia.lip6.fr/ safia/et/

[3] https://sites.google.com/site/shunjitanaka/sips/benchmark-results-sips

Esta pesquisa focou-se em aplicações do escalonamento Just-in-Time em problemas do mundo real. Mas, muitas aplicações não utilizavam, necessariamente, a teoria de escalonamento em seus trabalhos, os autores aplicavam a filosofia JIT em outras áreas do conhecimento, como Aprendizagem de Máquina, Administração de Empresas e Engenharia de Produção, alguns destes trabalhos foram incluídos na Seção 2. Dessa forma, como possíveis trabalhos futuros, espera-se ampliar a pesquisa, de modo que se tenha o levantamento não apenas do Escalonamento JIT, mas também o estudo da filosofia JIT em outras áreas do conhecimento.

Referências

[1] Abdul Nazar, K. e Madhusudanan Pillai, V. (2018). Mixed-model sequencing problem under capacity and machine idle time constraints in jit production systems. *Computers & Industrial Engineering*, 118:226 – 236. ISSN 0360-8352. URL http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360835218300688.

[2] Amorim, R., Thomaz, M., e De Freitas, R. (2017). Solving large instances applying metaheuristics for classical parallel machine scheduling problems under tardiness and earliness penalties. p. 1–10.

[3] Assadi, M. T. e Bagheri, M. (2016). Diferential evolution and population-based simulated annealing for truck scheduling problem in multiple door cross-docking systems. volume 96, p. 149–161.

[4] Brucker, P. (2006). *Scheduling Algorithms*. Secaucus, NJ, USA: Springer-Verlag, 5th edition.

[5] Dantas, J. D., Varela, L. R., e Madureira, A. M. (2015). Scheduling single-machine problem oriented by just-in-time principles - A case study. In *2015 10th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, p. 1–6.

[6] de Freitas, R. (2009). Caracterizações e algoritmos para problemas clássicos de escalonamento.

[7] Dimario, R. K., Santiago, S. B., e Magalhães, E. K. Aplicação de ferramentas de manufatura enxuta em processo de montagem de motocicletas no polo industrial de manaus.

[8] Domingues, M. A. d. S., Mapa, S. M. S., Bueno, R. d. O., Gonçalves, R. C., e Paiva, A. A. B. d. (2016). Otimização do sequenciamento de produção com abordagem just-in-time e tempos de setup dependentes da sequencia em uma usina siderúrgica. *XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção*.

[9] Jacquin, S., Allart, E., Dufossé, F., e Jourdan, L. (2016). Decoder-based evolutionary algorithm for bi-objective just-in-time single-machine job-shop. In *2016 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI)*, p. 1–8. IEEE.

[10] Jiang, S., Liu, M., Hao, J., e Qian, W. (2015). A bi-layer optimization approach for a hybrid flow shop scheduling problem involving controllable processing times in the steelmaking industry. *Computers & Industrial Engineering*, 87:518–531.

[11] Józefowska, J. (2007). *Just-in-time scheduling: models and algorithms for computer and manufacturing systems*, volume 106. Springer Science & Business Media.

[12] Kitchenham, B. e Charters, S. (2007). Guidlines for performing systematic literature reviews in software engineering.

[13] Kong, L., Li, H., Luo, H., Ding, L., Luo, X., e Skitmore, M. (2017). Optimal single-machine batch scheduling for the manufacture, transportation and jit assembly of precast construction with changeover costs within due dates. *Automation in Construction*, 81:34 – 43. ISSN 0926-5805. URL http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580517300444.

[14] Lee, S., Do Chung, B., Jeon, H. W., e Chang, J. (2017). A dynamic control approach for energy-efficient production scheduling on a single machine under time-varying electricity pricing. *Journal of Cleaner Production*, 165:552–563.

[15] Leung, J., Anderson, J. H., e Kelly, L. (2004). *Handbook of Scheduling: Algorithms, Models, and Performance Analysis*. Boca Raton, FL, USA: CRC Press,Inc.

[16] Ludwig, J. P., Faiz, E. B., Scheifler, T., e Dreger, A. A. Aplicação da metodologia just in time para a redução de estoques em uma indústria do ramo moveleiro. 1(2):22–39.

[17] Minadeo, R. (2008). Adoção do just-in-time no varejo: O caso zara. *XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção*.

[18] Moraes, E. d. O. e Nogueira, R. J. Corporação em rede: um estudo sobre a moto honda da amazônia.

[19] Moses, S. A. e Sangplung, W. (2017). Resource planning for just-in-time make-to-order environments: A scalable methodology using tabu search. *Cogent Engineering*, 4(1):1341289. URL https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/23311916.2017.1341289.

[20] Nobil, A. H., Sedigh, A. H. A., e Cárdenas-Barrón, L. E. (2020). A multiproduct single machine economic production quantity (epq) inventory model with discrete delivery order, joint production policy and budget constraints. *Annals of Operations Research*, 286(1):265–301. ISSN 1572-9338. URL https://doi.org/10.1007/s10479-017-2650-9.

[21] Ohno, T. (1997). *O sistema Toyota de produção além da produção*. Bookman.

[22] Petersen, K., Feldt, R., Mujtaba, S., e Mattsson, M. (2008). Systematic mapping studies in software engineering. In *Ease*, volume 8, p. 68–77.

[23] Santiago, L. d. P. P., Macedo, N. M. M. N., e Villar, A. d. M. (2008). Aplicação do just in time à uma indústria de confecção: Estudo de caso numa organização norte-riograndense. *XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção*.

[24] Tayyar, S. G., Lamothe, J., e Dupont, L. (2016). Genetic algorithm for generalized resource constrained multi project scheduling problem integrated with closed loop supply chain planning. In *2016 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, p. 1683–1687. IEEE.

[25] Zade, A. E., Barak, S., Maghsoudlou, H., e Toloo, M. (2015). Multi-objective optimization for periodic preventive maintenance. In *2015 International Conference on Industrial Engineering and Systems Management (IESM)*, p. 173–182.