
TECNOLOGIAS ENVOLVIDAS NO SISTEMA DE MÁQUINAS PARALELAS

Lorena Carvalho da Paz (Universidade Federal do Paraná) E-mail: cpaz.lorenacarvalhopaz@gmail.com
José Eduardo Pécora Júnior (Universidade Federal do Paraná) E-mail: pecora@ufpr.br

Resumo: Neste artigo são vistas técnicas envolvendo o problema de programação de tarefas em sistemas com máquinas paralelas. Esses problemas tem um número de tarefas pré-determinado, todas com tempos de execução conhecidos. Nesse problema busca-se minimizar o *makespan*, que é definido como o tempo total de processamento da pior máquina. Sendo assim, este trabalho apresenta uma revisão sistemática da literatura visando identificar as áreas de aplicações e as tecnologias utilizadas para resolução. As áreas mais comuns de aplicação são: indústrias, agendamento de tarefas, otimização, localização, saúde, telecomunicações. A pesquisa foi realizada usando a bases de dados *web of science*, e foi limitada a língua inglesa e tipo de documentos somente artigos. Após a investigação utilizando a metodologia da revisão sistemática, foram selecionados 15 artigos. Como conclusão, foram identificadas as áreas de aplicação e os métodos (tecnologias) envolvidas e utilizadas no processo de solução.

Palavras-chave: máquinas paralelas, tecnologia, revisão.

TECHNOLOGIES INVOLVED IN THE PARALLEL MACHINE SYSTEM

Abstract: In this article are studied techniques involving the task scheduling problem in systems with parallel machines. These problems have a predetermined number of tasks, all with known runtimes. This problem seeks to minimize makespan, which is defined as the total processing time of the worst machine. Thus, this paper presents a systematic literature review aiming to identify the application areas and the technologies used for resolution. The most common areas of application are: industries, job scheduling, optimization, localization, healthcare, telecommunications. The research was conducted using the web of science databases, and was limited to English language and document type articles only. After the investigation using the systematic review methodology, 15 articles were selected. In conclusion, the areas of application and the methods (technologies) involved and used in the solution process were identified.

Keywords: parallel machine, technology, review.

1. Introdução

Serão abordados o problema de sequenciamento de máquinas paralelas e as tecnologias envolvidas no processo, apresentando o estado da arte do tema proposto. Será exposto o desenvolvimento do tema com o passar dos anos e técnicas empregados para resolução. É um tema de grande relevância por ser facilmente visto sendo empregado em indústrias (máquinas), em agendamento de ônibus (transporte público), transporte, telecomunicações, agendamento de cirurgias, etc. Técnicas sustentáveis também podem ser empregadas nesse conceito, buscando a diminuição não somente do tempo, mas também de recursos naturais. De acordo com Pinedo (2016), um banco de máquinas em paralelo é um cenário importante do ponto de vista teórico e prático. Do ponto de vista teórico, é uma generalização da máquina única e um caso especial de fluxo flexível. Do ponto de vista prático, é importante porque a ocorrência de recursos em paralelo é comum no mundo real. Além disso, técnicas para máquinas em paralelo são frequentemente usadas em procedimentos de decomposição para sistemas de vários estágios.

O problema de máquinas paralelas se trata da alocação de um determinado número (n)

de tarefas independentes, com tempos de execução conhecidos, para um número (m) de máquinas paralelas. Após a distribuição das tarefas às máquinas, a soma dos tempos das tarefas pertencentes à máquina com a maior carga entre todas (makespan) deve ser a mínima possível, segundo MÜLLER et al. (2002). Para CHENG et al. (1990), a grande preocupação da teoria de agendamento de múltiplas máquinas é como fornecer uma combinação perfeita, ou quase perfeita, de trabalhos e determinar a sequência dos trabalhos em cada máquina para atingir algum objetivo prescrito. Feng e Yuan (2007) provaram que o problema de scheduling é NP-difícil, sendo assim, acredita-se que a existência de um algoritmo com tempo polinomial para resolvê-lo na otimalidade é pouco provável.

Segundo Correa et al. (2006), *scheduling* consiste em decidir quais atividades produtivas (ou ordens/instruções de trabalho) devem ser realizadas, quando (momento de início ou prioridade na fila) e com quais recursos (matérias-primas, máquinas, operadores, ferramentas) para atender a demanda informada, ou através das decisões do plano-mestre de produção (documento que diz quais itens serão produzidos e quando cada um será produzido). Uma ferramenta utilizada para o processo de sequenciamento é o Gráfico de Gantt, que, segundo Slack et al. (2002), “proporcionam uma representação visual simples do que deveria e do que está realmente acontecendo na operação. Além disso, eles podem ser usados para pôr em teste programas alternativos”. Sua utilização é dada como artifício e ferramenta de visualização nos principais softwares de scheduling, porém não é uma ferramenta de otimização. A figura 1 feita por Pimenta (2018) exemplifica a utilização do gráfico de Gantt em uma situação onde são processadas sete tarefas (*jobs*), em três centros de processamento (máquinas). Nesse exemplo, observa-se a otimização das tarefas através do seu sequenciamento nos três centros de processamento, de forma clara e de fácil entendimento, onde a distância horizontal equivale ao tempo de cada job e o objetivo é a diminuição do tempo (*makespan*).

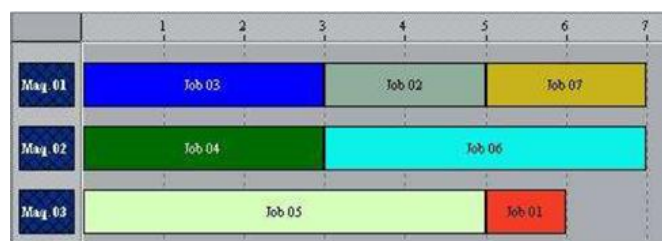


Figura 1 - Exemplo da utilização do gráfico de Gantt (Software LEKIN)

Sabendo disso, será abordado nesse artigo as tecnologias envolvidas no problema de máquinas paralelas. O termo tecnologia trata-se da ciência que estuda os métodos e a evolução num âmbito industrial. Procedimento ou grupo de métodos que se organiza num domínio específico: tecnologia médica. Teoria ou análise organizada das técnicas, procedimentos, métodos, regras, âmbitos ou campos da ação humana. Etimologia (origem da palavra tecnologia). Do francês *technologie*; do grego *technología*, de acordo com o dicionário Aurélio (1999).

Refere-se à fixação dos termos técnicos, designando os utensílios, as máquinas, suas partes e as operações dos ofícios. Estamos perante uma tecnologia descritiva e enumerativa que foi desconsiderada em importância e prestígio social durante muitos milênios em favor do saber intelectual, segundo Blanco e Silva (1993).

A tecnologia estuda, de forma profunda e segundo uma ordem sistemática, como encontrar os meios de atingir um objetivo final, a partir de princípios verdadeiros e de

experiências seguras. Desta forma, a tecnologia passa a ser considerada como a aplicação de conhecimentos científicos na resolução de problemas. Tecnologia passa a ser sinônimo de ciência aplicada.

O artigo está organizado da seguinte maneira: a seção 2 é um breve estudo sobre o conceito de máquinas paralelas. A seção 3 uma revisão sistemática da literatura e concluímos o artigo no tópico 4 com um resumo da discussão de máquinas paralelas e suas tecnologias.

2. Referencial Teórico

A fim de possibilitar uma melhor compreensão do tema e do problema de pesquisa, serão abordados inicialmente conceitos fundamentais que envolvem o conceito de máquinas paralelas, seus tipos e aplicações.

2.1 Máquinas Paralelas

Um conceito importante no estudo de máquinas paralelas é o job: subconjunto de T, ou seja, o job (J_j) está dividido em n_j tarefas, T_{1j}, T_{2j}, ..., T_{nj}, onde duas tarefas adjacentes devem ser processadas em máquinas diferentes. Tarefas adjacentes são tarefas consecutivas, ou seja, devem ser processadas uma após a outra. Pode-se redefinir job como um pedido a ser produzido. Com base nas características de máquinas paralelas, um sistema clássico de máquinas paralelas (PMS) pode ser categorizado como idêntico, uniforme ou não relacionado (CHEN e SIN, 1990). Máquinas paralelas idênticas: um sistema de produção com máquinas paralelas idênticas é aquele em que um trabalho pode ser processado por qualquer uma das máquinas livres. Cada trabalho finalizado liberará uma máquina e deixará o sistema (CHENG e SIN, 1990).

O caso de máquinas paralelas uniformes ocorre quando existe um conjunto único contendo os tempos de execução (ou finalização) das tarefas, mas os tempos de execução são alterados por um fator uniforme, dependendo da tarefa a ser atribuída a uma máquina ou à outra. O PMS uniforme geralmente surge quando as fábricas compram novas máquinas, mas retêm máquinas mais lentas e mais antigas, segundo Ying et al. (2017). Tem-se a seguir um modelo matemático para máquinas uniformes proposto pelo mesmo autor, adaptado sem recurso:

$$\text{Min } Z = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{m+1} X_{ij} * \frac{p_j}{v_i} \quad (2.1)$$

$$\sum_{i=1}^{m+1} X_{ij} = 1, \forall j \quad (2.2)$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} * \frac{p_j}{v_i} \leq C, \forall i \quad (2.3)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\}, \forall i, j \quad (2.4)$$

Sendo:

n: conjunto de trabalhos $v = \{J_1, J_2, \dots, J_n\}$ a serem processados;

m : conjunto de máquinas paralelas uniformes $M = \{U_1, U_2, \dots, U_m\}$ (Diferem apenas na velocidade de processamento);

$p_{ij} = p_j/v_i$; tempo de única operação (Tempo de processamento p_j nos trabalhos J_j e a velocidade de processamento v_i das máquinas U_i);

C_j : tempo de conclusão do trabalho J_j ;

C : makespan máximo.

A equação (2.1) corresponde á função objetivo buscando minimizar o tempo de cada máquina; na equação (2.2) cada trabalho é atribuído a exatamente uma máquina; a equação (2.3) garante que todos os trabalhos sejam concluídos antes do limite no makespan e a (2.4) garante que são variáveis binárias.

Máquinas paralelas não-relacionadas (*unrelated*): quando n tarefas precisam ser distribuídas entre m máquinas, mas cada job é representado por um subconjunto de m tempos de execução, podendo ser iguais ou diferentes para cada máquina. Isso ocorre quando se fazem readequações do processo de fabricação ou quando se tem células flexíveis de manufatura, onde várias máquinas estão aptas a desempenhar diversas tarefas, porém elas podem ser mais rápidas para determinados procedimentos enquanto outras são mais rápidas para outros, não havendo possibilidade de estabelecer uma relação de velocidade. O modelo de programação inteira mista apresentado é baseado no modelo de Manne (1960) para *Job Shop* na dissertação do Rocha (2006). Conta com as seguintes variáveis de decisão:

t_i : tempo de início do processamento da tarefa i ;

α_{im} : (1 se a tarefa i é processada pela máquina m ,

0 caso contrário);

$\beta_{ii'm}$: (1 se as tarefas i e i' são processadas na máquina m e i é processada antes de i' ,

0 caso contrário);

ρ_i : atraso da tarefa i ;

Z : makespan (tempo para o término de todas as tarefas).

$$F.O. = \text{Min} (Z + \sum_{i \in N} (\rho_i \cdot w_i)) \quad (2.5)$$

$$\sum_{m \in M} \alpha_{im} = 1, \forall i \quad (2.6)$$

$$Z \geq t_i + p_{im} - (1 - \alpha_{im}) \cdot G, \forall i, \forall m \quad (2.7)$$

$$p_i \geq t_i + p_{im} - d_i - (1 - \alpha_{im}) \cdot G, \forall i, \forall m \quad (2.8)$$

$$t_i' \geq t_i + p_{i'm} + s_{i'im} - (1 - \alpha_{im}) \cdot G - (1 - \alpha_{i'm}) \cdot G - (1 - \beta_{ii'm}) \cdot G, \forall i, \forall i' > i, \forall m \quad (2.9)$$

$$t_i \geq t_i' + p_{i'm} + s_{i'im} - (1 - \alpha_{im}) \cdot G - (1 - \alpha_{i'm}) \cdot G - \beta_{ii'm} \cdot G, \forall i, \forall i' > i, \forall m \quad (2.10)$$

$$\alpha_{im} \in \{0,1\}, \forall i, \forall m \quad \beta_{ii'm} \in \{0,1\}, \forall i, \forall i' > i, \forall m$$

(2.5) Minimizar o makespan somado ao atraso ponderado (soma os valores dos dois objetivos); (2.6) Cada tarefa deve ser processada por exatamente uma máquina; (2.7) Makespan deve ser maior ou igual ao tempo de início de cada tarefa i adicionado ao tempo de processamento de i na máquina m onde i é processada; (2.8) O início do processamento da tarefa i adicionado ao tempo de processamento na máquina m onde i

é processada deve ser menor ou igual à sua data de entrega di acrescida de um possível atraso p_i ; (2.9) Processamento da tarefa i' poderá começar somente após o processamento da tarefa i e o tempo de preparação de i para i' , se ambas forem processadas na máquina m ($\alpha_{im} = \alpha_{i'm} = 1$) e i' for processada após i na máquina m ($\beta_{ii'm} = 1$); (2.10) Impõe o recíproco.

Como variantes do problema tem-se a utilização de recursos (água, material, energia), custos, tempos de setup (troca) dependentes da sequência ou da máquina, disponibilidade da máquina, restrição de capacidades. A preempção sugere que não é necessário manter uma tarefa em uma máquina até o término. É possível interromper o processamento de uma tarefa a qualquer hora, e colocar uma tarefa diferente na máquina. A quantidade de tempo de processamento que uma tarefa interrompida já recebeu não é perdida. Quando uma tarefa interrompida volta à máquina (ou a outra máquina no caso de máquinas paralelas), ela só precisa da máquina para o tempo de processamento restante. A não-preempção se trata de uma tarefa, uma vez alocada a uma máquina, permanece nela até o final de sua execução, sem interrupções.

3. Revisão Sistemática da Literatura (RSL)

A busca teve como termos *technology* e *parallel machine* e a base de dados utilizada foi a *Web of Science*. A primeira busca no *web of science* foi uma busca avançada feita da seguinte maneira: filtro por título, $ts=(\text{"parallel machine"})$, somente em inglês e tipo de documento somente artigos, sendo obtidos 1.722 resultados. Na segunda busca foi usado o termo $ts=(\text{technology})$, somente em inglês e tipo de documento somente artigos, sendo obtidos 874.177 resultados. Tendo conhecimento de que o termo tecnologia tem uma utilização muito abrangente, foi feita uma busca com o operador AND e chegou-se ao número de 39 artigos. Foi feita a leitura do título e resumo dos 39 artigos e foram selecionados 15 artigos para a realização da revisão sistemática do tema proposto. Segue em anexo o quadro 1 com a síntese dos trabalhos realizados contendo título, área, autor/ano e a tecnologia envolvida no artigo.

Quadro 1 - Síntese dos trabalhos analisados.

Título	Área de Aplicação	Autores/Ano	Tecnologia
<i>Vocal Effort Based Speaking Style Conversion Using Vocoder Features and Parallel Learning</i>	Saúde Vocal	(Seshadri <i>et al.</i> , 2019)	Tecnologia de Conversão de Estilo de Fala (SSC) que faz a conversão de sinais de fala natural de um estilo para outro.
<i>A Real-Time Data Mining Approach for Interaction Analytics Assessment IoT Based Student Interaction Framework</i>	Educação	(Farhan <i>et al.</i> , 2018)	Estrutura de interação baseada na <i>Internet of Things</i> (IoT) para analisar a experiência do aluno no aprendizado eletrônico (eLearning)
<i>Review and classification of hybrid shop scheduling</i>	Agendamento de Lojas Híbridas	(Fan <i>et al.</i> , 2018)	Classificação do problema de programação de lojas híbridas com base no critério de ambiente da máquina

<i>Non-clairvoyant online scheduling of synchronized jobs on virtual clusters</i>	Agendamento de Tarefas	(Khorandi and Sharifi, 2018)	Técnica para agendamento on-line não-clarividente de tarefas sincronizadas globalmente
<i>A MPN-based scheduling model for IoT-enabled hybrid flow shop manufacturing</i>	Planejamento e Controle da Produção	(Wang <i>et al.</i> , 2016)	Algoritmo de Otimização de Colônias de Formigas (ACO)
<i>Interpolation control algorithm for a three-RPS parallel spindle head</i>	Máquina-híbrida	(Ni <i>et al.</i> , 2016)	Modelo cinemático e um algoritmo de controle
<i>Unrelated parallel machine scheduling problem with energy and tardiness cost</i>	Máquinas com recursos limitados	(Li <i>et al.</i> , 2016)	Modelo matemático e dez algoritmos heurísticos
<i>Scheduling with position-based deteriorating jobs and multiple deteriorating rate-modifying activities</i>	Programação de máquina com deterioração	(Wei, Qiu and Ji, 2014)	Implementação para minimizar o makespan
<i>Group scheduling with independent setup times, ready times, and deteriorating job processing times</i>	Programação de máquina com deterioração	(Wang <i>et al.</i> , 2012)	Implementação para minimizar o tempo de preparo da máquina
<i>Adaptive numerical algorithms in space weather modeling</i>	Clima Espacial	(Tóth <i>et al.</i> , 2012)	Estrutura de Modelagem do Clima Espacial (SWMF)
<i>Particle Swarm Optimization for Parallel Machine Scheduling Problem with Machine Eligibility Constraints</i>	Escalonamento de Máquinas Paralelas	(Hao, Liu and Wu, 2010)	Algoritmo de escalonamento baseado em otimização de enxame de partículas (PSO)
<i>Virtual cellular manufacturing: Configuring routing flexibility</i>	Planejamento e Controle da Produção	(Nomden and van der Zee, 2008)	Implementação da fabricação de células virtuais (VCM)
<i>A distributed evolutionary simulated annealing algorithm for combinatorial optimisation problems</i>	Otimização e Localização	(Aydin and Fogarty, 2004)	Algoritmo <i>Evolutionary Simulated Annealing</i> (ESA), sua implementação e sua aplicação a dois problemas combinatórios

<i>Operating system for the earth simulator</i>	Agendamento de Tarefas	(Yanagawa, 2003)	Sistema que fornece operação, gerenciamento e controle de tarefas
<i>The complexity of two group scheduling problems</i>	Agendamento de Tarefas	(Blazewicz and Kovalyov, 2002)	Algoritmo de programação dinâmica para agendamento de tarefas

Fonte: elaboração do autor (2019).

Um dos cenários de aplicação é o setor de saúde, tendo sido feito um estudo sobre a Conversão de Estilo de Fala (SSC). Se trata da tecnologia de conversão de sinais de fala natural de um estilo para outro. Foi proposta uma abordagem paramétrica que usa um vocoder para extrair recursos de fala. Esses recursos são mapeados usando modelos de aprendizado de máquinas paralelas, de enunciados falados no estilo normal aos recursos correspondentes do discurso Lombard. Finalmente, os recursos mapeados são convertidos em uma forma de onda de fala Lombard com o codificador de voz. Um total de três vocodificadores e três métodos de mapeamento de aprendizado de máquina foram comparados no estilo proposto para normal para Lombard sistema de conversão, segundo (SESHADRI et al., 2019).

Para Farhan et al. (2018), no contexto educacional, medir a atenção do aluno é uma parte essencial da avaliação educacional para a interação dos alunos. O foco do artigo foi desenvolver a estrutura de interação baseada na *Internet of Things* (IoT) e analisar a experiência do aluno no aprendizado eletrônico (*eLearning*), para que os alunos pudessem tirar o máximo proveito da moderna tecnologia de interação e aumento no aprendizado. O número de rostos, o número de olhos e o status dos olhos foram extraídos do fluxo de vídeo (câmera). A infraestrutura baseada na IoT fornece as facilidades para os colegas sobre conhecimento de localização, acessibilidade dos companheiros, comportamento social e ajuda.

O agendamento de lojas híbridas (oficina clássico, fluxo de loja, loja aberta, máquina paralela e tarefas de multiprocessador) ganhou popularidade devido ao rápido aumento da demanda do mercado e ao desenvolvimento da tecnologia de produção. No artigo foi proposta uma classificação do problema de programação de lojas híbridas com base no critério de ambiente da máquina, de acordo com Fan et al. (2018).

Foi apresentada uma técnica para agendamento on-line não-clarividente de tarefas sincronizadas globalmente, cada uma das quais gera tarefas para executar trabalhos intensivos em computação. Mostrou-se que, na presença de custos indiretos de virtualização, efeitos de interferência e custo de sincronização, o problema pode ser reduzido a um agendamento de máquina paralela não relacionado on-line, que é resolvido usando o roteamento de circuitos virtuais. Foi desenvolvido um modelo de custo de oportunidade para reduzir o problema ao roteamento de circuitos virtuais e provar a eficácia da técnica de agendamento usando análise matemática e experimentos simulados, segundo Khorandi e Sharifi (2018).

Wang et al. (2016) apresentaram um modelo de programação baseado em Petri Net para a fabricação de fluxo híbrido habilitado para IoT. O modelo proposto alterna o cronograma das sequências de token no MPN para a sequência de transição da trigger. Com isso, os comportamentos de produção em tempo real nas lojas de fluxo de fabricação habilitados para IoT poderiam ser modelados. Uma solução baseada em otimização de colônias de formigas (ACO) foi proposta com o confinamento dos valores mínimo e máximo de feromônio para evitar a estagnação da busca causada pela concentração de feromônio.

Uma máquina-ferramenta híbrida computadorizada foi aplicada ao processamento de componentes aeroespaciais de alta eficiência e seu controle de trajetória é uma das principais tecnologias subjacentes à sua eficácia. Esta pesquisa investigou um novo tipo de máquina-ferramenta híbrida e encontrou um algoritmo de interpolação de orientação do cortador que pode garantir sua operação de alta precisão e alta velocidade nos processos de usinagem. Primeiro, um modelo cinemático foi estabelecido e em seguida, proposto um algoritmo de controle que governa duas estratégias de interpolação nos espaços de operação e articulação (NI et al., 2016).

Este artigo considera o problema de agendamento paralelo não relacionado no contexto de "big data e tecnologia de nuvem para manufatura" e o principal objetivo tem sido melhorar a eficiência da produção. Foi abordado o problema de programação de máquinas paralelas não relacionadas com o objetivo de minimizar o atraso total e o consumo de energia, onde o consumo de energia em cada máquina também é paralelo não relacionado. Foi desenvolvido um modelo matemático e dez algoritmos heurísticos propostos com base nas regras de prioridade, no consumo de energia e nas regras combinacionais devido à complexidade desse problema (LI et al., 2016).

Em 2014, Wei, Qiu e Ji desenvolveram um modelo matemático para agendar trabalhos em deterioração com atividades de modificação de taxa em uma única máquina. Formulam um programa inteiro para resolver o agendamento de uma máquina para os objetivos de minimizar a marca e o tempo total de conclusão. Também propuseram algoritmos heurísticos eficientes para resolver problemas de tamanho grande e um algoritmo ideal de solução de tempo polinomial para o gabinete da máquina paralela, a fim de minimizar o tempo total de conclusão.

Um problema de programação de uma única máquina com trabalhos em deterioração e suposição de tecnologia de grupo foi abordado por Wang et al. em 2012. Tentaram minimizar o tempo de preparo com os horários prontos dos trabalhos. Para um caso especial, mostramos que o problema pode ser resolvido em tempo polinomial, quando a deterioração e a tecnologia do grupo são consideradas simultaneamente.

Em 2012, Tóth et al. estudaram o clima espacial, o qual descreve os vários processos no sistema Sol-Terra que apresentam perigo para a saúde e a tecnologia humana. Com o objetivo de oferecer uma oportunidade para mitigar esses efeitos negativos, a modelagem do clima espacial baseada na física é caracterizada por escalas temporais e espaciais díspares. A Estrutura de Modelagem do Clima Espacial (SWMF) disponível ao público pode executar e acoplar vários componentes distribuídos em uma máquina paralela de maneira flexível e eficiente. A estrutura e os algoritmos adaptáveis permitem modelagem do clima espacial baseada na física e até previsão de curto prazo.

Hao, Liu e Wu apresentaram, em 2010, um algoritmo de escalonamento baseado em otimização de enxame de partículas para um problema de escalonamento de máquinas paralelo em larga escala com restrições de elegibilidade da máquina e o objetivo de minimizar o atraso ponderado total. Foi proposto, primeiro uma heurística de atribuição de máquina (MAH), em seguida, um algoritmo de otimização de enxame de partículas para otimizar a sequência de todas as tarefas.

Partindo de dois casos industriais, foram estudadas oficinas de máquinas paralelas, assumindo a implementação da fabricação de células virtuais (VCM), com o foco principal de aumentar a flexibilidade de roteamento em termos do número e distribuição de máquinas alternativas disponíveis para uma família de produtos e do número de recursos secundários, de acordo com Nomden e van der Zee (2008).

No artigo de Aydin e Fogarty (2004) são apresentados o algoritmo Evolutionary Simulated Annealing (ESA), sua implementação distribuída (dESA) e sua aplicação a dois problemas combinatórios. Como os sistemas WAN / LAN são os sistemas de várias máquinas mais comuns, a implementação do dESA é baseada neles, e não em qualquer outra máquina paralela. Os problemas abordados são bem conhecidos problemas de otimização combinatória, a saber, o problema clássico de agendamento de oficina e o problema de localização de instalações sem capacidade.

Em 2003, Yanagawa apresentou uma visão geral do sistema operacional do Earth Simulator (ES). Para realizar o processamento paralelo de alto desempenho nas máquinas paralelas, o sistema operacional é aprimorado especialmente em escalabilidade. Esse sistema de gerenciamento fornece operação, gerenciamento e controle de tarefas de imagem de sistema único (SSI) para o sistema de vários nós em grande escala. Eles agendam eficientemente os recursos que geralmente não foram tratados como recursos de agendamento, como nós e arquivos de processamento.

Os problemas de agendamento de grupos de trabalhos sob a premissa de tecnologia de grupo são estudados. O problema de máquinas paralelas para minimizar o tempo total de conclusão do trabalho é comprovadamente NP-difícil, mesmo se os tempos de configuração do grupo forem iguais a zero. Um algoritmo de programação dinâmica é apresentado para resolver esse problema, que é polinomial se o número de máquinas for fixo. É mostrado que o último problema sob a condição de que qualquer grupo possa ser dividido em lotes não se reduz ao problema em que as separações não são permitidas, ou seja, a suposição da tecnologia do grupo é satisfeita, de acordo com Blazewicz e Kovalyov em 2002.

4. Conclusão

Este artigo teve por objetivo apresentar uma perspectiva sobre as pesquisas existentes sobre as tecnologias envolvidas no sistema de máquinas paralelas. Foi realizada uma revisão sistemática da literatura sobre as áreas de aplicação do tema. A bases de dados utilizada foi a *Web of Science*. Houveram 1.722 resultados para a busca do termo *parallel machine* e 874.177 resultados para *technology*. Tendo conhecimento de que o termo tecnologia tem uma utilização muito abrangente, foi feita uma busca com o operador AND e chegou-se ao número de 39 artigos. Foi feita a leitura do título e resumo dos 39 artigos e foram selecionados 15 artigos para a realização da revisão sistemática do tema proposto.

Diversas foram as técnicas utilizadas para alguns cenários de máquinas paralelas, como Saúde Vocal, Educação, Agendamento de Lojas Híbridas, Agendamento de Tarefas Planejamento e Controle da Produção, Máquina-híbrida, Máquinas com recursos limitados, Programação de máquina com deterioração, Programação de máquina com deterioração, Clima Espacial, Escalonamento de Máquinas Paralelas, Planejamento e Controle da Produção, Otimização e Localização, Agendamento de Tarefas.

Como falado anteriormente, a tecnologia estuda como encontrar os meios de atingir um objetivo final, passando a ser considerada como a aplicação de conhecimentos científicos na resolução de problemas. Sendo assim, pode-se afirmar que após a realização da RSL, foram vistas algumas aplicações de tecnologias no ambiente de máquinas paralelas. Foram utilizados modelos matemáticos, algoritmos, heurísticas, técnicas de aprendizado eletrônico e sistemas para controle. Sendo assim, verifica-se que esse problema pode ser aplicado em diversas outras áreas. As abordagens de

solução ainda são em torno de métodos exatos, como a programação linear inteira mista com o uso de metaheurísticas, muitos deles usando abordagens híbridas.

Referências

- AYDIN, M. E. AND FOGARTY, T. C. *A distributed evolutionary simulated annealing algorithm for combinatorial optimisation problems*, Journal of Heuristics, 10(3), pp. 269–292. doi: 10.1023/B:HEUR.0000026896.44360.f9, 2004.
- BLANCO, E. & SILVA, B. D. *Tecnologia Educativa em Portugal: conceitos, origens, evolução, áreas de intervenção e investigação*. Revista Portuguesa de Educação, v.6 (3). Braga, Universidade do ol. Minho, p. 37-55, 1993.
- BLAZEWICZ, J. AND KOVALYOV, M. Y. *The complexity of two group scheduling problems*, Journal of Scheduling, 5(6), pp. 477–485. doi: 10.1002/jos.118, 2004.
- CHENG, T. C. E.; SIN, C. C. S. *A state of the art of parallel-machine scheduling Research*. European Journal of Operational Research, North-Holland, 47 p. 271-292, 1990.
- FAN, K., ZHAI, Y., LI, X., WANG, M.. *Review and classification of hybrid shop scheduling*. Production Engineering, 12(5), pp. 597–609. doi: 10.1007/s11740-018-0832-1, 2018.
- FARHAN, M., JABBAR, S., ASLAM, M., AHMAD, A., IQBAL, M. M., KHAN, M., MARIA, M. E. A.. *A Real-Time Data Mining Approach for Interaction Analytics Assessment: IoT Based Student Interaction Framewor*. International Journal of Parallel Programming, 46(5), pp. 886–903. doi: 10.1007/s10766-017-0553-7, 2018.
- FERREIRA, A. B. H. *Novo Aurélio Século XXI: o dicionário da língua portuguesa*. 3 ed. totalmente rev. e ampl. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1999.
- HAO, J., LIU, M. AND WU, C. *Particle swarm optimization for parallel machine scheduling problem with machine eligibility constraints*. Chinese Journal of Electronics, 19(1), pp. 103–106, 2010.
- KHORANDI, S. M. AND SHARIFI, M. *Non-clairvoyant online scheduling of synchronized jobs on virtual clusters*. Journal of Supercomputing, 74(6), pp. 2353–2384. doi: 10.1007/s11227-018-2262-4, 2018.
- LI, Z., YANG,, H. ZHANG, S., LIU, G.. *Unrelated parallel machine scheduling problem with energy and tardiness cost*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 84(1–4), pp. 213–226. doi: 10.1007/s00170-015-7657-2, 2016.
- MANNE, A. S. *On the job-shop scheduling problem*. Operations Research, 8 p. 219-223, 1960.
- MÜLLER F. M., DIAS O. B., ARAÚJO O. C. B. *Algoritmo para o problema de sequenciamento em máquinas paralelas não-relacionadas*. Revista Produção, v. 12 n. 2, 2002.
- NI, Y., ZHANG, Y., SUN, K., SUN, H., SUN, Y.. *Interpolation control algorithm for a three-RPS parallel spindle head*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part I: Journal of Systems and Control Engineering, 230(7), pp. 661–671. doi: 10.1177/0959651816645687, 2016.
- NOMDEN, G. AND VAN DER ZEE, D. J. *Virtual cellular manufacturing: Configuring routing flexibility*, International Journal of Production Economics, 112(1), pp. 439–451. doi: 10.1016/j.ijpe.2007.04.010, 2008.
- PIMENTA, L. B. *Otimização no sequenciamento de produção em uma fábrica de materiais médico-hospitalares*. Juiz de Fora, p. 48. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Juiz de Fora, 2008.
- PINEDO, M.. *Scheduling - Theory, Algorithms, and Systems*. 5. ed. New Jersey: Prentice-hall, 2016.
- ROCHA, P. L. *Um problema de sequenciamento em máquinas paralelas não-relacionadas com tempos de preparação dependentes de máquina e da sequência: modelos e algoritmo exato*. Belo Horizonte, p. 70. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, 2006.
- SESHADRI, S., JUVELA, L., RÄSÄNEN, O., ALKU, P.. *Vocal Effort Based Speaking Style Conversion Using Vocoder Features and Parallel Learning*, IEEE Access, 7, pp. 17230–17246. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2895923, 2019.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. *Administração da Produção*. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- TÓTH, G., HOLST, B. D., SOKOLOV, I. V., ZEEUW, D. L. D., GOMBOSI, T. I., FANG, F.,

MANCHESTER, W. B., MENG, X., NAJIB, D., POWELL, K. G., STOUT, Q. F., GLOCER, A., MA, Y., OPPER, M. *Adaptive numerical algorithms in space weather modeling*. Journal of Computational Physics, 231(3), pp. 870–903. doi: 10.1016/j.jcp.2011.02.006, 2010.

WANG, J., HUANG, X., WU, Y., JI, P. *Group scheduling with independent setup times, ready times, and deteriorating job processing times*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 60(5–8), pp. 643–649. doi: 10.1007/s00170-011-3639-1, 2010.

WANG, M., ZHONG, R. Y., DAI, Q., HUANG, G. Q. *A MPN-based scheduling model for IoT-enabled hybrid flow shop manufacturing*, Advanced Engineering Informatics, 30(4), pp. 728–736. doi: 10.1016/j.aei.2016.09.006, 2016.

WEI, G., QIU, Y. AND JI, M. *Scheduling with position-based deteriorating jobs and multiple deteriorating rate-modifying activities*, Asia-Pacific Journal of Operational Research, 31(1). doi: 10.1142/S0217595914500092, 2014.

YANAGAWA, T. *Operating system for the Earth Simulator*, NEC Research and Development, 44(1), pp. 43–46, 2003.