



APLICAÇÕES DO MÉTODO TAMBOR-PULMÃO-CORDA: REVISÃO E ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

BRUNA CARVALHO DA SILVA – bruna.carvalho@ufersa.edu.br
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP

MARCO AURÉLIO DE MESQUITA – marco.mesquita@poli.usp.br
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP

Área: 1 - GESTÃO DA PRODUÇÃO

Sub-Área: 1.2 – PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO

Resumo: O presente artigo tem como objetivo revisar artigos que discutem aplicações do método Tambor-Pulmão-Corda, seja na prática de empresas, seja em experimentos computacionais, publicados em periódicos com fator de impacto no período de 2008 a 2018. Para isso, o método de pesquisa envolveu (i) levantamento e seleção dos artigos para revisão, (ii) análise descritiva, (iii) análise bibliométrica, e (iv) análise de conteúdo dos artigos selecionados. Vinte e três artigos formaram a amostra final de artigos para revisão. Na análise bibliométrica, apresenta-se uma rede de palavras-chave e cocitação. Na análise de conteúdo, o resultado foi o agrupamento dos artigos em quatro diferentes clusters.

Palavras-chaves: Teoria das Restrições; Método Tambor-Pulmão-Corda; Revisão da literatura; Análise Bibliométrica.

APPLICATIONS OF DRUM-BUFFER-ROPE METHOD: REVIEW AND BIBLIOMETRIC ANALYSIS

Abstract: *This article aims to carry out a literature review on selected articles that are discussing Drum-Buffer-Rope method, either in the practice of organizations, or computational experiments, published in journals with impact factor in the period from 2008 until 2018. For this, the research method involved (i) survey and selection of articles for review, (ii) descriptive analysis, (iii) bibliometric analysis, and (iv) content analysis. Twenty-three articles formed the final sample of articles for review. In the bibliometric analysis, networks of keywords and co-citation are presented. In the content analysis, grouping of the articles was carried out comprising four different clusters.*

Keywords: *Theory of Constraints; Drum-Buffer-Rope; Literature Review; Bibliometric Analysis.*

1. Introdução

Para a Teoria das Restrições (do inglês, Theory of Constraints, ToC), as empresas devem perseguir três metas: aumentar a taxa de produção, reduzir os estoques e reduzir as despesas operacionais. Isto é possível aplicando os cinco passos do processo de focalização da ToC (*Five Focusing Steps*), descritos como: (1) identifique a restrição do sistema; (2) decida como explorar a restrição do sistema; (3) subordine todas as outras decisões ao passo 2; (4) eleve o gargalo; e, (5) se em qualquer um dos passos anteriores uma restrição for superada, volte para a etapa 1 (GOLDRATT; COX, 1984).

Seguindo esta abordagem, o método Tambor-Pulmão-Corda (TPC, do inglês *Drum-buffer-rope*, DBR) é responsável por programar a restrição (explorar) e controlar a liberação das ordens (subordinar) para o sistema de acordo com a taxa de saída do gargalo.

Na literatura de gestão de operações, encontram-se artigos de revisão sobre ToC, com destaque para Ikeziri *et al.* (2018), mas não foram encontrados artigos de revisão dedicados especificamente ao método TPC. Thüerer *et al.* (2018a) apresentam a literatura acadêmica do TPC dividida em três correntes: (1) desenvolvimento do conceito; (2) comparação com outros mecanismos de programação e controle de produção; e, (3) aplicação do método (fatores e desempenho do sistema).

Diante o exposto, o presente trabalho tem como objetivo revisar artigos que discutem o método tambor-pulmão-corda, seja na prática de empresas ou a partir de experimentos computacionais, publicados em periódicos com fator de impacto no período de 2008 a 2018. Pretende-se com isso, responder a seguinte questão de pesquisa: “Como o tema Tambor-Pulmão-Corda vem sendo tratado na literatura recente?”.

Este trabalho está estruturado em seis seções, sendo esta breve introdução, na qual apresenta-se uma contextualização e descrevem-se a questão de pesquisa e o objetivo do estudo. Em seguida, o referencial teórico, que estabelece conceitos e fundamentos sobre a temática; o método de pesquisa, que inclui o procedimento de levantamento e seleção dos artigos para revisão, análises descritiva, bibliométrica e de conteúdo dos artigos selecionados; e, finalmente, são apresentadas as considerações finais.

2. Teoria das Restrições e Método Tambor-Pulmão-Corda

A Teoria das Restrições é uma filosofia de gestão, desenvolvida por Eliyahu Goldratt em meados da década de 80. Para a ToC, a meta de uma empresa é ganhar dinheiro. Logo, as

operações devem contribuir para a melhoria de três elementos básicos: o aumento do ganho, a redução dos estoques e a redução das despesas operacionais. Compreende-se por ganho, a taxa de geração de receitas por meio de vendas; por estoque, todo o dinheiro investido em bens que se pretende vender; e, despesas operacionais, todo o dinheiro que o sistema gasta para transformar estoque em ganho (GOLDRATT; COX, 1984).

Conforme Mabin e Balderstone (2003) e Watson, Blackstone e Gardiner (2007), a ToC iniciou com o desenvolvimento do *software* de programação *Optimised Production Timetable* (1979), depois nomeado *Optimised Production Technology* (OPT) (1982). A partir do OPT foi elaborado o método TPC, difundido no livro “A Meta” (GOLDRATT, 1988).

Segundo Rahman (1998), o conceito básico da ToC pode ser resumido em: (1) todo sistema tem pelo menos uma restrição; e, (2) a existência de restrições representa oportunidades para melhoria. Entende-se por restrição qualquer fato que impede o sistema de alcançar melhor desempenho (GOLDRATT, 1988).

Duas ferramentas para ToC são particularmente relevantes: uma ferramenta que apoia o processo de melhoria contínua – *Five Focusing Steps*; e, outra a solução de problemas – *Thinking Process* (RAHMAN, 1998). Os métodos TPC e Gerenciamento de Pulmões seguem a lógica dos cinco passos de focalização.

Neste contexto, o método TPC inicia com a identificação o gargalo. Em seguida, por meio da programação, e considerando a capacidade protetiva (isto é, a capacidade excedente nos recursos não críticos), explora o gargalo; finalmente, subordina todo o sistema a capacidade da restrição, a partir do controle de liberação das ordens de acordo com o recurso gargalo. Nesse caso, a liberação de ordem busca equilibrar a taxa de entrada de trabalho com a taxa de saída do gargalo. Na sigla TPC, o tambor (*drum*) representa a restrição (gargalo) e a sua programação (*schedule*); o pulmão (*buffer*), um estoque em frente ao recurso gargalo, projetado para absorver incertezas do fluxo e garantir que o gargalo continue trabalhando, mesmo em caso de problemas em um dos processos a montante. O tamanho do pulmão (*buffer*) é dimensionado em função da probabilidade de falha a montante do tambor (*drum*), sendo baseado em unidades de tempo, ao invés de unidades de estoque; e, (3) a corda (*rope*) é o canal de comunicação que fornece o sinal de liberação de ordens a partir do tambor para o início do sistema (SCHRAGENHEIM; RONEN, 1990).

Para que o TPC funcione bem, o gerenciamento dos pulmões é responsável por controlar o andamento da execução da programação, monitorar informações relacionadas ao

status do pulmão e, assim, evidenciar as prioridades para evitar atrasos na produção (SCHRAGENHEIM; RONEN, 1991).

Uma revisão abrangente sobre a literatura de Teoria das Restrições pode ser encontrada em Ikeziri *et al.* (2018). Os autores apresentam a evolução histórica e uma análise bibliométrica, a fim de mapear o estado da arte, identificar lacunas e, como resultado, oferecem caminhos para pesquisas futuras em ToC.

Os artigos de Rahman (1998) e Mabin e Balderstone (2003) são duas referências clássicas de revisão sobre a ToC. Enquanto Rahman (1998) apresenta uma visão geral da literatura e da metodologia na época, Mabin e Balderstone (2003) revisam aplicações da ToC em ambientes reais de negócios.

Blackstone Jr (2001) aborda aplicações da ToC as áreas de cadeia de suprimento, *marketing*, vendas e gestão de pessoas. Watson, Blackstone e Gardiner (2007) apresentam a evolução da ToC em cinco Eras. Gupta e Snyder (2009) revisaram artigos que realizaram comparações entre a ToC e outras filosofias para planejamento e controle como o Planejamentos das Necessidades de Materiais (do inglês, *Manufacturing Resource Planning*, MRP) e o *Just-in-time* (JIT). A ausência de revisões destinadas ao tema específico do TPC (método de programação e controle da ToC) reforçam a relevância do presente estudo.

3. Método de Pesquisa

Para alcançar o objetivo do estudo, uma revisão da literatura sobre o método tambor-pulmão-corda foi realizada. A pesquisa foi realizada pela autora, supervisionada por seu orientador. As etapas incluíram: (i) levantamento e seleção de artigos para revisão; (ii) análise descritiva; (iii) análise bibliométrica, e (iv) análise de conteúdo.

3.1 Levantamento e seleção de artigos para revisão

Este estudo abrange o período de 2008 a 2018. Os artigos foram coletados da *Scopus* e *Web of Science* (WoS). A palavra-chave selecionada para identificar a literatura que atende aos requisitos do objetivo da pesquisa foi “*drum buffer rope*”. Nesta revisão, optou-se por uma única e específica palavra-chave, a fim de que a busca trouxesse apenas os estudos relacionados ao tema, conforme discutido por Thomé *et al.* (2016), ao citar Cooper (2010).

Como resultado, 94 documentos, divididos em artigos de periódico (66) e artigos de conferência (28); e, 61 documentos, entre artigos de periódico (46) e artigos de conferência

(15) e revisão (1), foram encontrados na *Scopus* e *WoS*, respectivamente. A partir desses resultados, alguns refinamentos foram realizados.

Primeiramente, decidiu-se excluir os artigos de conferência, limitando a pesquisa aos artigos em periódico. Isto resultou em 66 artigos na *Scopus* e 46 na *WoS*. Ressalta-se que, dos 46 artigos da *WoS*, 10 não estão nos resultados de busca da base *Scopus*, ou seja, 36 artigos são comuns a ambas as bases. Ao final, tem-se uma amostra líquida de 76 artigos em 40 periódicos diferentes.

Em seguida, o fator de impacto *Journal Citation Reports* (JCR) foi utilizado como critério para excluir artigos. Foram considerados somente artigos publicados em periódicos com JCR (referente a 2017, ano mais recente para este dado). Geralmente, o fator de impacto é um critério importante para avaliar um periódico e a qualidade da pesquisa científica. Entre os 40 periódicos, 21 não possuem fator de impacto e 4 possuem até os anos de 2009 (1), 2010 (2) e 2011 (1). Com isso, 34 artigos foram excluídos, resultando em uma amostra de 42 artigos.

No processo de seleção de artigos para revisão, três condições eram necessárias: (i) acesso; (ii) idioma, aceitos somente artigos escritos em inglês; e, (iii) caracterizar-se como pesquisa aplicada. Neste artigo, entende-se por pesquisa aplicada, os artigos que envolvem a discussão do método TPC (original, como proposto por Goldratt e Cox (1984)) na prática de empresas ou por meio de experimentos computacionais, para efeito de avaliação de desempenho, comparação, melhoria, entre outros.

Com relação ao acesso, todos os artigos (42) estavam disponíveis para *download*. Entre eles, somente um (1) não estava escrito em inglês. Aplicando o terceiro critério, dezoito (18) artigos foram excluídos.

Detalhando um pouco mais estes dezoito (18) artigos excluídos: cinco (5) artigos não tinham o método TPC como tema central; onze (11) artigos discutem métodos/modelos derivados do TPC para atender necessidades específicas da aplicação em estudo. Deste grupo de artigos, destacam-se quatro (4) artigos dedicados ao método tambor-pulmão-corda simplificado; outros dois (2), aplicados aos sistemas de remanufatura, caracterizados por fluxos reentrantes, que limita a aplicação da proposta do TPC original; e, mais um (1), que apresenta uma abordagem dinâmica a proposta original do TPC; por fim, dois (2) artigos teóricos, um envolvendo uma revisão sistemática da literatura de programação em sistema de remanufatura e, o outro, uma análise do romance empresarial “A Meta”.

A seguir, uma análise descritiva dos vinte três (23) artigos selecionados para revisão é apresentada.

3.2 Análise descritiva

Os anos de 2008 e 2015 concentram o maior número de publicações (5 artigos, 21,7%). Para o período entre 2011 e 2013 nenhum artigo foi publicado. É possível identificar o periódico *International Journal of Production Research* (8 artigos, 34,8%) como a principal fonte de publicação de trabalhos relacionados ao tema. Esse resultado também é evidenciado por Ikeziri *et al.* (2018) para a Teoria das Restrições.

A Universidade de Lancaster (4 artigos, 17,4%), a Universidade de Jinan (3 artigos, 13,0%) e a Universidade da Georgia (3 artigos, 13,0%) são as universidades que reúnem o maior número de publicações. Em relação a lista dos principais pesquisadores, dois autores (Mark Stevenson e Matthias Thürer) concentram 17,4% (4 artigos) das publicações. A Figura 1 (a-d) foi elaborada a partir da base de dados WoS, com base na lista dos vinte três (23) artigos selecionados para revisão.

FIGURA 1 – a) Mapa de árvore do número de artigos publicados por ano; b) mapa de árvore do número de artigos publicados por periódico; c) mapa de árvore do número de artigos publicados por instituição; d) mapa de árvore do número de artigos publicados por autor.

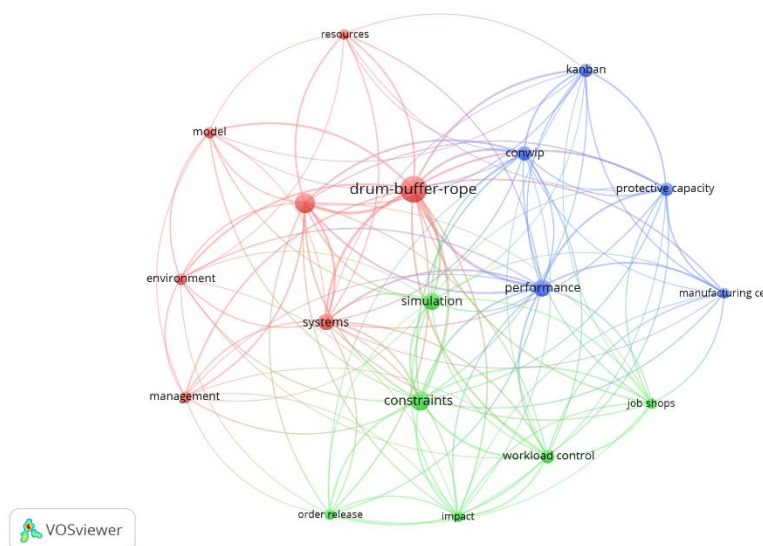


3.3 Análise bibliométrica

Esta análise bibliométrica está centrada na rede de palavras-chave e de cocitação, ambas construídas por meio do *software* VOSviewer, empregando o número mínimo de duas ocorrências de uma palavra-chave e cinco citações de uma referência citada. Ressalta-se que, quanto maior o nó (representado na forma de um círculo), maior a frequência de ocorrência da palavra-chave ou maior a frequência que um trabalho foi citado.

Na rede de palavras-chave (ver Figura 2), apresentam-se as palavras-chave que foram mencionadas juntas. Na construção da rede, foram padronizadas as palavras-chave com grafias diferentes, mas significados semelhantes. Todas as variantes para *drum-buffer-rope* (por exemplo, a sigla DBR), *theory of constraints* (por exemplo, a sigla ToC) e *constant work-in-process* (por exemplo, CONWIP) foram substituídas por: *drum-buffer-rope*, *theory of constraints* e CONWIP.

FIGURA 2 – Rede de palavras-chave.



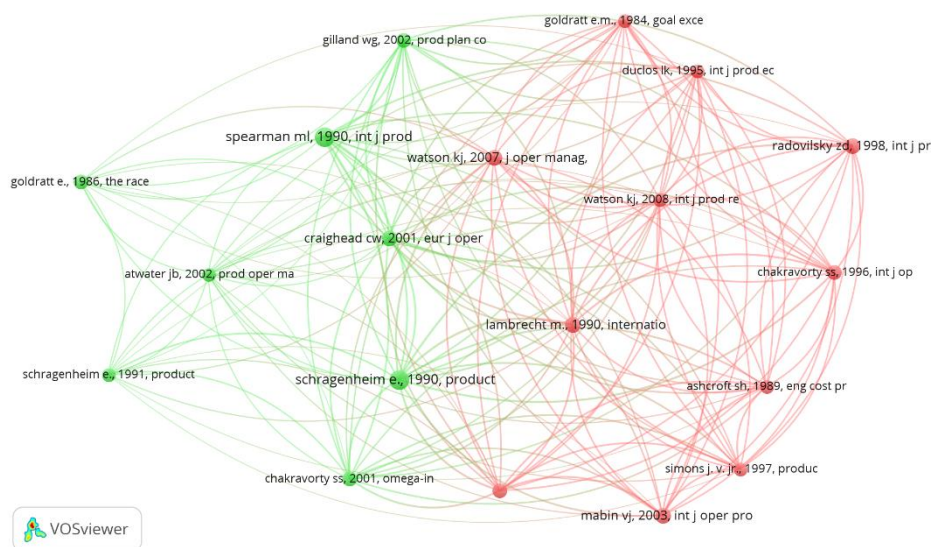
A análise resultou em três *clusters*: o *cluster* vermelho, envolvendo palavras-chave mais relacionadas a gestão e melhoria contínua, tendo a palavra-chave Teoria das Restrições como uma das principais integrantes; e, os *clusters* azul e verde, relacionando palavras-chave como *Kanban*, *ConWiP*, *Workload Control* (WLC), desempenho e simulação.

A rede de cocitação (Figura 4) mostra os trabalhos que estão sendo citados juntos. Isto quer dizer que existe uma semelhança de assuntos entre os artigos citados conjuntamente na visão do artigo citante. Como resultado disso, é possível inferir sobre possíveis temas centrais da área.

A Figura 4 apresenta dois *clusters* bem definidos. O *cluster* ilustrado na cor verde envolve artigos clássicos sobre o método tambor-pulmão-corda, que tanto exploram o

conceito, como avaliam desempenho e realizam análises comparativas com outros métodos de programação e controle da produção, por exemplo, o *Constant Work-in-Process* (ConWiP). Neste *cluster*, o método TPC é abordado como um método de programação e controle orientado ao gargalo, com origem na Teoria das Restrições. Já no *cluster* vermelho, o método TPC é apresentado como uma das ferramentas para apoiar a melhoria contínua segundo a Teoria das Restrições. Com isso, tem-se no *cluster* verde, artigos que possuem como tema central o método TPC, enquanto no *cluster* vermelho, o tema central é a Teoria das Restrições.

FIGURA 4 – Rede de cocitação.



3.4 Análise de conteúdo

A partir da análise de conteúdo dos artigos, apresenta-se uma nova classificação em quatro classes (clusters). O **principal cluster** de artigos identificado nesta revisão é formado pelos trabalhos que compararam o tambor-pulmão-corda com outros métodos de programação e controle da produção.

Jodlbauer e Huber (2008) avaliaram os métodos MRP, *Kanban*, ConWiP e TPC em uma configuração *flow shop* por meio das medidas de desempenho: nível de serviço e estoque em processo (WiP). Watson e Patti (2008) comparam a capacidade dos métodos TPC e *Kanban* em mitigar o impacto de variabilidades no sistema (tempo ocioso não planejado da máquina), com base em suas diferentes filosofias de *buffer*.

Ainda no contexto de linhas desbalanceadas (linhas com gargalo) sujeitas a variabilidades (na forma de tempo ocioso não planejado da máquina), Patti, Watson e

Blackstone Jr (2008) analisaram várias configurações de capacidade protetiva, em linhas controladas pelo *Kanban* e TPC, por meio de medidas de desempenho como produção total e *lead time* de produção. Kim, Cox e Mabin (2010) discutem sobre estoque e capacidade protetiva no contexto de linhas reentrantes, considerando os sistemas *Kanban*, TPC, TPC Simplificado (do inglês, *Simplified Drum-Buffer-Rope*, S-DBR) e ConWiP.

Fredendall, Ojha e Patterson (2010) examinaram o desempenho de vinte cinco regras de controle de carga de trabalho, incluindo ConWiP e TPC, por meio de simulação. Millstein e Martinich (2014) desenvolvem um método chamado *Take Time Grouping* (TTG). Este método permite implementar a manufatura celular, quando as peças exibem alta variação de tempo de ciclo, processo de produção desbalanceado, tempos de *setup* e gargalos flutuantes. Para comprovar que métodos como fluxo de uma peça e o TPC não fornecem boas soluções nestes ambientes de produção, os autores utilizam um modelo de simulação para comparar o TTG com estes métodos.

Wang *et al.* (2015) propuseram um modelo de reabastecimento TPC dinâmico (do inglês, *dynamic drum-buffer-rope*, DDBR) e analisaram o desempenho em relação ao modelo tradicional de ponto de pedido (do inglês, *reorder point*, ROP) e o TPC original. Este estudo é realizado no contexto de reabastecimento de materiais hospitalares. Hilmola e Gupta (2015) investigaram o problema do *mix* de produção sob demanda estocástica e processos com refugo. Para isso, avaliaram o desempenho da abordagem TPC e da abordagem de redução da taxa de refugo focada na restrição, usando medidas globais como produção e estoque.

Mais recente, Lee e Seo (2016) compararam o *Kanban*, o ConWiP e o TPC, analisados como sistemas de controle de WiP, quando submetidos a linhas de produção com tempos determinísticos. Já Thürer *et al.* (2017a) avaliaram o desempenho do TPC e do *Workload Control* (WLC) em “*pure job shop*” e “*general flow shop*” com vários níveis de severidade do gargalo. Com frequência, o TPC tem sido comparado com o *Kanban* e ConWiP e, nos últimos anos, com o *Workload Control* (WLC) e abordagens diversas desenvolvidas para problemas específicos.

Dando continuidade, o **segundo cluster** compreende artigos que discutem a aplicação do método TPC em contextos específicos. Darlington *et al.* (2015) discutem a implementação do TPC em uma planta de fabricação de painéis em um fabricante de veículos grandes de baixo volume no Reino Unido. O TPC é empregado como um sistema puxado que permite lidar com as particularidades de processos do tipo *jobbing*, de maneira a quebrar o paradigma entre a produção enxuta (células de produção dedicadas) e a gestão de recursos

compartilhados. No processo de seleção do sistema de produção puxado, o método TPC foi comparado qualitativamente ao *Kanban* e ConWiP. Golmohammadi (2015) discute a implementação de regras da ToC (entre elas, o TPC) em sistemas *job-shops* por meio de um caso real na indústria automotiva.

Os trabalhos de Costas *et al.* (2015) e Ponte *et al.* (2016) tratam do método TPC expandido para a gestão de Cadeia de Suprimento. Em ambos os estudos, o TPC tem sido empregado para identificar o gargalo e subordinar os elementos não-restritivos ao ritmo da restrição. Ao restringir o estoque, o efeito chicote é reduzido. Neste contexto, o TPC foi comparado a política de estoque *order-up-to*, típica do paradigma de produção em massa. Em 2010, Hsiao, Lin e Huang já tinham empregado o método TPC no contexto de Cadeia de Suprimento, sob a perspectiva do controle da produção orientado ao gargalo.

Huang *et al.* (2018) empregaram o TPC como um método de programação para identificar quais recursos eram gargalos em um hospital. Os autores esperavam melhorar a programação das salas de cirurgias, aumentando a utilização e, então, ao diminuir o tempo ocioso, aumentar o número de pacientes atendidos. Adicionalmente, Huang *et al.* (2018) avaliam o desempenho do TPC sob condições de incerteza (parâmetros estocásticos), com dois métodos heurísticos conhecidos, primeiro que entra primeiro que sai (do inglês, *first in, first out*, FIFO) e tempo de processamento mais curto (do inglês, *shortest processing time*, SPT).

O **terceiro cluster** envolve artigos que se dedicaram a melhorar o TPC original. Wu e Liu (2008) propuseram um modelo baseado no conceito de capacidade disponível para promessa (*capacity available-to-promise* – CATP) para o método TPC, motivados pela oportunidade do modelo CATP contribuir para a melhoria do cumprimento de prazos e exploração de gargalos. Ye e Han (2008) descrevem uma abordagem analítica para determinar o tamanho do *buffer* da restrição e da montagem em sistemas de produção controlados pelo TPC. Gonzalez-R, Framinan e Ruiz-Usano (2010) analisaram a influência de regras de despacho no desempenho do TPC, buscando determinar a mais robusta sob certas condições de variabilidade. Thüerer *et al.* (2018a) exploraram o potencial de diferentes alternativas para o sequenciamento do *backlog* e regras de despacho para melhorar o desempenho do TPC.

Por fim, o **quarto cluster** é caracterizado por trabalhos que avaliaram o efeito de diferentes fatores no desempenho do TPC. Betterton e Cox III (2009) discutem a importância de modelos conceituais e de simulação corretos para calibração do método TPC, particularmente, em ambientes de linhas de produção em série, argumentando que modelos

inadequados ou muito simplificados podem demonstrar apenas uma parte do potencial desse método de controle de fluxo. Thüerer *et al.* (2017b) avaliam o impacto da posição do gargalo no controle da liberação de ordem em “*pure flow shops*”, comparando o TPC com ConWiP e WLC. Thüerer *et al.* (2018b) investigam como uma suposição incorreta sobre a localização do gargalo afeta o desempenho do chão de fábrica sob controle de métodos de liberação de ordens orientados a gargalos. Os autores comparam o TPC com um método oriundo da literatura de WLC, denominado “*Starvation Avoidance*”.

4. Conclusões

O presente estudo teve como objetivo revisar artigos que discutem aplicações do método tambor-pulmão-corda, publicados em periódicos com fator de impacto no período de 2008 a 2018. Como resultado, vinte e três artigos foram selecionados, analisados e agrupados em quatro *clusters*, para responder à seguinte questão de pesquisa: “Como o tema Tambor-Pulmão-Corda vem sendo tratado na literatura recente?”. O primeiro e maior *cluster* engloba os artigos que compararam o método TPC com outros métodos de programação e controle da produção. Observou-se a predominância de comparações com *Kanban* e ConWiP. O segundo *cluster* é formado por artigos que discutem a aplicação do método TPC em contextos específicos, como na indústria automotiva, hospitais e cadeias de suprimento. No terceiro *cluster*, identificou-se um grupo de artigos, cujo objetivo principal esteve centrado em melhorar o desempenho método TPC original, tornando-o mais eficiente e adequado aos complexos sistemas do mundo real. Finalmente, o quarto *cluster* abrange os artigos que avaliaram o desempenho do TPC sob a influência de diferentes fatores, entre eles, a posição do gargalo e a suposição incorreta sobre a localização do gargalo. De maneira geral, a maioria dos artigos analisados realizam, paralelamente, ao objetivo de seus estudos, comparações entre o método TPC e outros métodos de programação e controle da produção. Este agrupamento corrobora as correntes identificadas por Thüerer *et al.* (2018a) para a literatura acadêmica do TPC.

Sobre as limitações desta revisão, destacam-se as restrições definidas para a seleção dos artigos para revisão e o escopo limitado da análise dos artigos. Recomendações para pesquisas futuras incluem a avaliação do desempenho do método TPC original sob ambientes complexos, como sistemas de remanufatura, os quais estão sujeitos a fluxos reentrantes, como também mais estudos que discutam o processo de implantação desse método em sistemas reais.

Referências

- BETTERTON, C.E.; COX III, J.F. Espoused drum-buffer-rope flow control in serial lines: a comparative study of simulation models. *International Journal of Production Economics*, v. 117, p. 66-79, 2009.
- BLACKSTONE Jr, J. Theory of constraints - a status report. *International Journal of Production Research*, v. 39, n. 6, p. 1053-1080, 2001.
- COSTAS, J.; PONTE, B.; de la FUENTE, D.; PINO, R.; PUCHE, J. Applying Goldratt's Theory of Constraints to reduce the Bullwhip Effect through agent-based modeling. *Expert Systems with Applications*, v. 42, p. 2049-2060, 2015.
- DARLINGTON, J.; FRANCIS, M.; FOUND, P.; THOMAS, A. Design and implementation of a drum-buffer-rope pull-system. *Production Planning & Control*, v. 26, n. 6, p. 1-16, 2015.
- FREDENDALL, L.; OJHA, D.; PATTERSON, J.W. Concerning the theory of workload control. *European Journal of Operational Research*, v. 201, p. 99-111, 2010.
- GOLDRATT, E.; COX, J. *The goal: excellence in manufacturing*. New York: North River Press, 1984.
- GOLDRATT, E.M. Computerized shop floor scheduling. *International Journal of Production Research*, v. 26, n. 3, p. 443-455, 1988.
- GOLMOHAMMADI, D. A study of scheduling under the theory of constraints. *International Journal of Production Economics*, v. 165, p. 38-50, 2015.
- GONZALEZ-R, P.L.; FRAMINAN, J.A.; RUIZ-USANO, R. A multi-objective comparison of dispatching rules in a drum-buffer-rope production control system. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, v. 23, n. 2, p. 155-167, 2010.
- GUPTA, M.; SNYDER, D. Comparing TOC with MRP and JIT: a literature review. *International Journal of Production Research*, v. 47, n. 13, p. 3705-3739, 2009.
- HILMOLA, O.; GUPTA, M. Throughput accounting and performance of a manufacturing company under stochastic demand and scrap rates. *Expert Systems with Applications*, v. 42, p. 8423-8431, 2015.
- HSIAO, Y.; LIN, Y.; HUANG, Y. Optimal multi-stage logistic and inventory policies with production bottleneck in a serial supply chain. *International Journal of Production Economics*, v. 124, p. 408-413, 2010.
- HUANG, W.; CHEN, P.; LIU, J.; CHEN, Y.; CHEN, Y. Dynamic configuration scheduling problem for stochastic medical resources. *Journal of Biomedical Informatics*, v. 80, p. 96-105, 2018.
- IKEZIRI, L.M.; SOUZA, F.B.; GUPTA, M.C.; FIORINI, P.C. Theory of constraints: review and bibliometric analysis. *International Journal of Production Research*, p. 1-35, 2018.
- JODLBAUER, H.; HUBER, A. Service level performance of MRP kanban CONWIP and DBR due to parameter stability and environmental robustness. *International Journal of Production Research*, v. 46, n. 8, p. 2179-2195, 2008.
- KIM, S.; COX, J.F.; MABIN, V.J. An exploratory study of protective inventory in a re-entrant line with protective capacity. *International Journal of Production Research*, v. 48, n. 14, p. 4153-4178, 2010.
- LEE, H.; SEO, D. Performance evaluation of WIP-controlled line production systems with constant processing times. *Computers & Industrial Engineering*, v. 94, p. 138-146, 2016.

- MABIN, V.; BALDERSTONE, S. The performance of the theory of constraints methodology: analysis and discussion of successful TOC applications. *International Journal of Operations & Production Management*, v. 23, n. 6, p. 568-595, 2003.
- MILLSTEIN, M.A.; MARTINICH, J.S. Takt Time Grouping: implementing kanban-flow manufacturing in an unbalanced, high variation cycle-time process with moving constraints. *International Journal of Production Research*, v. 52, n. 23, p. 6863-6877, 2015.
- PATTI, A.P.; WATSON, K.; BLACKSTONE Jr, J.H. The shape of protective capacity in unbalanced production systems with unplanned machine downtime. *Production Planning and Control*, v. 19, n. 5, p. 486-494, 2008.
- PONTE, B.; COSTAS, J.; PUCHE, J.; de la FUENTE, D.; PINO, R. Holism versus reductionism in supply chain management: an economic analysis. *Decision Support Systems*, v. 86, p. 83-94, 2016.
- RAHMAN, S. Theory of constraints: a review of the philosophy and its applications. *International Journal of Operations & Production Management*, v. 18, n. 4, p. 336-355, 1998.
- SCHRAGENHEIM, E.; RONEN, B. Buffer management: a diagnostic tool for production control. *Production and Inventory Management Journal*, v. 32, n. 2, p. 74-79, 1991.
- SCHRAGENHEIM, E.; RONEN, B. Drum-buffer-rope shop floor control. *Production and Inventory Management Journal*, v. 31, n. 3, p. 18-22, 1990.
- THOMÉ, A.; SCAVARDA, L.; SCAVARDA, A. Conducting systematic literature review in operations management. *Production Planning & Control*, v. 27, n. 5, p. 408-420, 2016.
- THÜRER, M.; QU, T; STEVENSON, M.; LI, C.D.; HUANG, G.Q. Deconstructing bottleneck shiftiness: the impact of bottleneck position on order release control in pure flow shops. *Production Planning & Control*, v. 188, p. 1-13, 2017b.
- THÜRER, M.; STEVENSON, M. Bottleneck-oriented order release with shifting bottlenecks: an assessment by simulation. *International Journal of Production Economics*, v. 197, p. 275-282, 2018b.
- THÜRER, M.; STEVENSON, M. On the beat of the drum: improving the flow shop performance of the Drum-Buffer-Rope scheduling mechanism. *International Journal of Production Research*, p. 1-12, 2018a.
- THÜRER, M.; STEVENSON, M.; SILVA, C.; QU, T. Drum-buffer-rope and workload control in high-variety flow and job shops with bottlenecks: an assessment by simulation. *International Journal of Production Economics*, v. 188, p. 116-127, 2017a.
- WANG, L.; CHENG, C.; TSENG, Y.; LIU, Y. Demand-pull replenishment model for hospital inventory management - a dynamic buffer-adjustment approach. *International Journal of Production Research*, v. 53, n. 24, p. 7533-7546, 2015.
- WATSON, K.; BLACKSTONE, J.; GARDINER, S. The evolution of a management philosophy: the theory of constraints. *Journal of Operations Management*, v. 25, p. 387-402, 2007.
- WATSON, K.J.; PATTI, A. A comparison of JIT and TOC buffering philosophies on system performance with unplanned machine downtime. *International Journal of Production Research*, v. 46, n. 7, p. 1869-1885, 2008.
- WU, H.; LIU, J. A capacity available-to-promise model for drum-buffer-rope systems. *International Journal of Production Research*, v. 46, n. 8, p. 2255-2274, 2008.
- YE, T.; HAN, W. Determination of buffer sizes for drum-buffer-rope (DBR)-controlled production systems. *International Journal of Production Research*, v. 46, n. 10, p. 2827-2844, 2008.