

# Proposta de avanço para o método Tambor-Pulmão-Corda Simplificado aplicado em ambientes de produção sob encomenda

## *Proposal of enhancement for the Simplified Drum-Buffer-Rope method applied to make-to-order production environments*

Fernando Bernardi de Souza<sup>1</sup>  
Humberto Rossetti Baptista<sup>2</sup>

**Resumo:** Recentes aplicações da Teoria das Restrições em Gestão de Operações têm adotado o chamado método Tambor-Pulmão-Corda Simplificado (S-DBR – *Simplified Drum-Buffer-Rope*) como padrão para planejamento e controle da produção. Contudo, poucas são as referências bibliográficas, especialmente em periódicos nacionais e internacionais, que relatam seus principais conceitos e premissas. Este artigo se propõe a apresentar o método S-DBR para planejamento da produção e sua correspondente abordagem de controle da produção denominado Gerenciamento do Pulmão, aqui abordados em ambientes de produção sob encomenda (MTO – *make to order*), suas principais características, pressupostos e diferenças em relação ao método DBR clássico. É também apresentada uma proposta complementar ao método S-DBR para estabelecer promessas de entregas urgentes mantendo elevada probabilidade de entrega no prazo.

**Palavras-chave:** Planejamento e controle da produção. Teoria das Restrições. Gestão da demanda.

**Abstract:** *Recent applications of the Theory of Constraints in operations management have adopted the method called Simplified Drum-Buffer-Rope (S-DBR) as the standard for production planning and control. However, there is little information reported in the literature on this method's main concepts and premises, especially in national and international journals. This article aims to present the S-DBR method for production planning and its corresponding control approach called Buffer Management, both applied to make-to-order (MTO) production environments. It also presents their main characteristics, assumptions, and differences from the classical DBR method. In addition, it includes a proposal to complement the S-DBR method for delivering urgent orders with a high probability of meeting the delivery schedule.*

**Keywords:** *Production planning and control. Theory of Constraints. Demand management.*

## 1 Introdução

A Teoria das Restrições (TOC, do inglês *Theory of Constraints*), criada por Eliyahu Goldratt, vem rapidamente se expandindo conceitualmente, ao ponto de alguns de seus métodos serem ainda pouco conhecidos no meio acadêmico e mesmo por praticantes. Um bom exemplo é o método Tambor-Pulmão-Corda Simplificado (S-DBR), primeiramente apresentado por Schragenheim e Dettmer (2001).

Muitas pesquisas foram desenvolvidas com o intuito de explicar e medir os resultados da aplicação do método Tambor-Pulmão-Corda (DBR) (MABIN; BALDERSTONE, 2003; CHAKRAVORTYA; ATWATERB, 2005; BETTERTON; COX III, 2008;

GREEN JUNIOR.; SALE; INMAN, 2009). Contudo, tais publicações apresentam o DBR na sua forma clássica, a qual sugere, dentre outros aspectos, que gargalos de produção devem ser programados, que novos pedidos levam à necessidade de ressequenciar as ordens no gargalo e que mais de um pulmão é necessário ao longo do roteiro de produção. A primeira e até o momento única referência identificada em periódico internacional que teve como foco de pesquisa o método S-DBR é Lee et al. (2010), que discute e propõe formas de lidar com três dificuldades que certos ambientes produtivos podem impor à implantação do S-DBR, quais sejam: 1) Recursos

<sup>1</sup> Universidade Estadual Paulista – UNESP, Av. Eng. Luiz Edmundo C. Coube, 14-01, CEP 17033-360, Bauru – SP, E-mail: fbernardi@feb.unesp.br

<sup>2</sup> Goldratt Schools, Alameda dos Jurupis, 900, Ap. 74-3, CEP 04088-002, São Paulo – SP, E-mail: humberto.baptista@goldrattgroup.com

Recebido em 4/3/2010 — Aceito em 18/10/2010

Supporte financeiro: Nenhum.

com Restrição de Capacidade (RRC) localizados nos extremos do roteiro de produção; 2) presença de múltiplos ou interativos RRC; e 3) inserção de ordens urgentes na programação da produção. Parte destas dificuldades, dentre diversas outras, foi tratada em Schragenheim, Dettmer e Patterson (2009) e este artigo generaliza a proposta de Lee et al. (2010) referente à dificuldade de número 3.

Este trabalho visa, na forma de um estudo teórico-conceitual, alcançar dois objetivos principais. O primeiro deles é apresentar o chamado método S-DBR, o qual sugere importantes modificações em relação ao DBR convencional, notadamente no que se refere ao entendimento de que o mercado deve ser a única restrição do sistema. O segundo objetivo é justamente apresentar uma abordagem que permita a análise de viabilidade, considerando a capacidade finita do RRC, de se aceitar pedidos urgentes ou cujos prazos são inferiores aos padrões de mercado. A contribuição deste artigo está no ineditismo da apresentação dos conceitos e premissas que sustentam o S-DBR, pela discussão em torno de alguns aspectos de sua implantação e pela apresentação de uma proposta para lidar com pedidos urgentes.

Caso não explicitado, sempre que aqui se referir à aplicação do método S-DBR, ou à sua forma mais clássica aqui referenciada como DBR, também se estará considerando sua abordagem complementar voltada ao controle de produção denominada de Gerenciamento do Pulmão (BM – *Buffer Management*).

Além desta seção inicial, este artigo apresenta outras seis seções, organizadas de forma a permitir ao leitor a compreensão dos conceitos básicos do método DBR Clássico e do Gerenciamento do Pulmão (seção 2) para, a partir de um novo entendimento do papel da restrição de mercado e da necessidade de se manter algum excesso de capacidade em todos os recursos (seção 3), compreender a essência do método DBR Simplificado (S-DBR) na seção 4. Na quinta seção, detalhes técnicos relativos à implantação do método DBR Simplificado são apresentados, incluindo sua lógica de liberação de material ao chão de fábrica e estabelecimento de datas prometidas para expedição dos produtos. Na sexta seção, é apresentada uma proposta de estabelecimento de datas confiáveis de entrega para pedidos regulares e urgentes, a qual complementa a literatura sobre S-DBR neste aspecto. Na sétima seção, são destacadas algumas conclusões permitidas pelo estudo.

## 2 Métodos Tambor-Pulmão-Corda e gerenciamento do pulmão clássicos

Os métodos Tambor-Pulmão-Corda (DBR) e Gerenciamento do Pulmão (BM) foram objetos de estudo em diversos trabalhos científicos e livros didáticos escritos nas mais variadas línguas. O

texto que segue é um apanhado dos conceitos mais fundamentais destes métodos. Seu conteúdo, assim como detalhes aqui não tratados, está baseado em Goldratt (1990, 2003, 2009), Schragenheim e Dettmer (2001), Souza (2005) e Schragenheim, Dettmer e Patterson (2009).

O método DBR inicia sua lógica localizando o elemento mais restritivo do sistema, denominado gargalo ou recurso com restrição de capacidade (RRC) (as diferenças entre ambos serão oportunamente tratadas), e estabelece que o ritmo de produção de todo o sistema deve estar subordinado à taxa deste elemento restritivo. Por esta razão, o programa de produção do RRC (ou gargalo) é chamado de Tambor, estabelecendo a velocidade máxima que o sistema produtivo é capaz de manter sob as melhores condições, ou seja, sob baixos níveis de variabilidade ou interrupção. O Tambor é, portanto, um programa de produção formal e estabelecido segundo algoritmos criados para explorar a capacidade limitada do RRC. Em Goldratt (1990), Schragenheim e Dettmer (2001) e Souza (2005), podem ser encontrados maiores detalhes sobre a elaboração do Tambor.

O entendimento do conceito de Tambor traz algumas implicações. Uma delas é que, com exceção do RRC, todos os demais recursos devem operar abaixo de sua capacidade máxima, isto é, para estes recursos, a eficiência deixa de ser uma medida crítica. Um corolário desta conclusão é que tempo ocioso na maioria dos recursos passa a ser não só aceitável, mas desejado. Enquanto as eficiências locais perdem relevância, o DBR considera que o principal objetivo da manufatura é maximizar a velocidade do fluxo de produção, ao mesmo tempo que reduz a quantidade de estoque em processo a um mínimo consistente com elevados níveis de cumprimento de entregas no prazo prometido.

Uma vez que os ambientes produtivos estão sempre sujeitos a variações, uma proteção deve ser fornecida ao programa estabelecido no RRC. A esta proteção ao Tambor dá-se o nome de Pulmão, o qual, para o DBR clássico, é sempre definido na forma de tempo (*time buffer*). O tamanho do pulmão não é uma função da capacidade do RRC, mas do tempo necessário para que o material, uma vez liberado ao chão de fábrica, alcance o RRC a despeito das eventuais variações nos processos produtivos e das filas delas resultantes. Desta forma, o pulmão estabelece quanto tempo antes do programado pelo Tambor deve-se liberar material para atender a uma determinada ordem de produção. Para todos os propósitos práticos, o pulmão de tempo é uma função da incerteza total no sistema, incluindo erros humanos, quebras de equipamentos, ausência de mão de obra, problemas de qualidade, flutuações na demanda e de seus impactos nos tempos de fila.

Este tipo de pulmão recebe o nome de Pulmão de Recurso, mas não é o único sugerido pelo DBR. Um

Pulmão de Mercado é estabelecido para que todo pedido seja programado no Tambor um pulmão de tempo antes da sua data de entrega ao cliente. Este Pulmão de Mercado deve incorporar, portanto, as operações localizadas após o RRC (excluindo este) até a conclusão e embarque do pedido ao cliente. O terceiro tipo de pulmão existe para as situações nas quais há uma operação de montagem após o RRC no roteiro de produção. Denominado de Pulmão de Montagem, este pulmão visa garantir que as peças provenientes do RRC possam ser imediatamente montadas com aquelas que não passaram pelo RRC, evitando atrasos que poderiam colocar em risco as datas de entrega acordadas com os clientes.

Estabelecidos e dimensionados os pulmões, estes irão determinar o comprimento das Cordas a eles associadas. A Corda sinaliza às operações iniciais do roteiro de fabricação para que elas ajustem suas taxas de liberação de matéria-prima ou componentes ao sistema produtivo em um ritmo estabelecido no Tambor. Ao contrário das programações tradicionais, a Corda programa as liberações de material na forma de “não libere antes de determinada data”, evitando que desnecessário excesso de estoque em processo entre no sistema, mesmo quando as operações iniciais estão ociosas.

A aplicação do método DBR estabelece um plano de produção que visa explorar a capacidade do RRC e assegurar entregas no prazo. O BM é o mecanismo de controle e execução deste plano. O BM divide o pulmão de tempo em três partes iguais, cada uma delas correspondendo a uma categoria de prioridade. Durante a primeira parte do pulmão (passados um terço do pulmão de tempo), denominada de região verde, não se espera que a ordem já tenha chegado a seu destino (RRC, expedição ou montagem, dependendo do tipo de pulmão). Contudo, durante a segunda parte, ou região amarela, a expectativa é que a ordem já tenha chegado. Caso contrário, o gestor deve localizá-la e monitorá-la, porém não há necessidade de apressá-la. Entretanto, se mais de dois terços do pulmão se passaram, a região vermelha foi alcançada e a não chegada da ordem no seu destino deve levar o gestor a tomar uma atitude imediata: fazer o que for possível para acelerar a ordem.

Vale lembrar que uma premissa deste mecanismo é que o tempo efetivo de processamento das ordens (composto apenas pelo tempo de toque nas peças, isto é, pelo tempo de transformação dos produtos ou de agregação de valor) não é maior que 10% do *lead time* de produção. Devido aos demais fatores que constituem este *lead time*, em especial aos tempos de fila, esta premissa é válida para a grande maioria dos ambientes de manufatura (GOLDRATT, 2009). Assim, ordens de cor vermelha têm ainda 33,3% do *lead time* para ser concluída, um tempo maior que o tempo de processamento propriamente dito. Tal sistema

de prioridade, segundo o qual ordens que penetram a região vermelha do pulmão recebem prioridades sobre as amarelas e estas sobre as verdes, permite que os tempos de fila sejam minimizados para as ordens vermelhas, viabilizando sua conclusão no prazo.

Uma forma mais precisa de se identificar a real situação de uma ordem é calcular o *status* de seu pulmão. O *Status* do Pulmão (SP) mede o nível de penetração no pulmão de uma determinada ordem de produção. Um SP de 15% significa que 15% do tempo do pulmão foi consumido sem que esta alcançasse seu destino. Sua cor é, portanto, verde. Um SP entre 33,3% e 66,7% implica na cor amarela e, se este estiver maior que 66,7%, a cor é vermelha. Um SP maior que 100% significa que a ordem está atrasada e sua cor é preta; se negativo, a ordem de produção foi liberada antes do previsto, significando que a Corda não foi seguida.

Por fim, o dimensionamento do pulmão é definido na fase de planejamento, mas o BM deve dinamicamente ajustá-lo. Uma regra efetiva para se fazer isso, sem pôr em risco o desempenho nas entregas, é diminuí-lo quando o número de ordens vermelhas é menor que 5% do número total de ordens liberadas e aumentá-lo quando o número de ordens vermelhas é maior que 10%.

### 3 A Teoria das Restrições e a premissa de restrição no mercado

Uma das principais mensagens deixadas pelo livro “A Meta” (GOLDRATT; COX, 2003) está relacionada com aquilo que o autor denomina como a meta de toda a empresa. Segundo os autores, a meta de toda a empresa é ganhar dinheiro hoje e sempre. Talvez por uma questão de dificuldade de tradução, o uso da palavra “ganhar” (tradução de *to make*, na língua inglesa) costuma ser muitas vezes confundida com aumentar o lucro hoje e sempre. Porém, há uma importante consideração de ênfase que parece ter escapado da compreensão de muitos pesquisadores do assunto, conforme se segue.

Goldratt e Cox (2003) sugerem que o lucro líquido operacional de uma empresa pode ser descrito como o Ganho total por ela obtido subtraído de suas Despesas Operacionais totais. De acordo com os autores, Ganho é definido como a taxa na qual a empresa gera dinheiro a partir das vendas, enquanto a Despesa Operacional é definida como todo o dinheiro gasto na transformação dos investimentos da empresa em Ganho.

No entanto, uma importante mensagem que os autores procuraram transmitir é que aceitar que a meta de uma empresa é “ganhar dinheiro hoje e sempre” implica em que as empresas deveriam buscar aumentos de lucratividade prioritariamente por meio do aumento do Ganho, e não pela via da redução de custos (ou das Despesas Operacionais).

Como aumentar o Ganho significa necessariamente priorizar ações que visem o aumento das vendas, a relação entre a TOC e a gestão da demanda parece ser evidente.

Quando do seu surgimento, muitas das práticas e abordagens derivadas da TOC estavam voltadas a questões da manufatura, tratadas pelos métodos Tambor-Pulmão-Corda (DBR) e Gerenciamento do Pulmão (BM) (GOLDRATT, 1990; GOLDRATT; COX, 2003). Conviver com um gargalo no sistema não era visto necessariamente como algo ruim, desde que devidamente gerenciado.

O método DBR tradicional foi projetado para situações nas quais a demanda frequentemente excedia a capacidade da companhia de atendê-la. O S-DBR, por sua vez, reconhece que para um grande número de empresas, durante ao menos parte do tempo, a demanda não consome toda a capacidade de produção. De fato, como será visto oportunamente neste artigo, o S-DBR permite suavizar a carga sobre os recursos mesmo quando a pressão da demanda é muito alta (SCHRAGENHEIM; DETTMER; PATTERSON, 2009).

Schragenheim e Dettmer (2001) fazem uma discussão sobre o papel estratégico que a restrição coloca sobre os sistemas organizacionais e sustentam a tese de que o mercado deve ser sempre encarado e priorizado como uma restrição, pois, com exceção dos monopólios, o mercado dita certas necessidades que a companhia deve satisfazer. Caso contrário, o mercado (ou os clientes) irá se deslocar para os competidores, prejudicando a meta da empresa.

Entretanto, enquanto a demanda de mercado deve ser entendida como uma permanente restrição do sistema, a existência de recursos gargalos (recursos cujas capacidades são insuficientes para atender às necessidades impostas pela demanda) limita a exploração da restrição de mercado, impedindo a expansão do mercado atual.

Além disso, ao se aceitar que o mercado é sempre uma restrição do sistema (um impedimento para se obter mais unidades de medida da meta do sistema), se está afirmando que ele é parte do sistema cujo propósito é, dentre outros, fazer mais dinheiro. Restrições de capacidade, portanto, devem ser entendidas como restrições interativas à restrição principal do mercado, enfraquecendo o sistema como um todo (SCHRAGENHEIM; DETTMER; PATTERSON, 2009).

São várias as implicações destas observações. A primeira é que, para que um sistema atinja plenamente seu propósito, é imperativo que este tenha apenas uma única restrição permanente (GOLDRATT; COX, 2003). Como o mercado é sempre uma restrição, todos os recursos devem ter capacidade suficiente para atender às necessidades do mercado. Mesmo o Recurso com Restrição de Capacidade (RRC),

recurso mais sobrecarregado da empresa, deve ter suficiente capacidade para suprir toda a demanda atual nele imposta.

Devido às variabilidades internas e às incertezas inerentes a qualquer demanda de mercado, torna-se impossível e contra-produtivo balancear as capacidades internas às necessidades do mercado. Assim, todos os recursos produtivos, incluindo o RRC, devem possuir uma considerável capacidade além do estritamente estabelecido pela demanda atual. A este excesso de capacidade que todos os recursos devem possuir dá-se o nome de Capacidade Protetiva (GOLDRATT, 1990; SCHRAGENHEIM; DETTMER, 2001).

A necessidade de existência de capacidade protetiva em todos os recursos da empresa trouxe a segunda grande implicação desta nova visão da TOC, qual seja, uma readequação do próprio método DBR, que passa a ser denominado DBR Simplificado (S-DBR) (SCHRAGENHEIM; DETTMER, 2001).

#### 4 O método *Simplified Drum-Buffer-Rope*

Todo fundamento lógico da TOC está baseado nos cinco passos de seu processo focalização, quais sejam (GOLDRATT; COX, 2003):

- Identificar as restrições do sistema;
- Decidir como explorar as restrições do sistema;
- Subordinar tudo o mais às decisões anteriores;
- Elevar a restrição do sistema; e
- Se a restrição for quebrada, voltar ao passo 1, mas não deixar que a inércia se torne uma restrição do sistema.

Anos de experiência com o método DBR clássico mostraram que seguir os cinco passos de focalização é bastante efetivo (MABIN; BALDERSTONE, 2003). Seguir estes passos em um ambiente industrial ou de operações resulta no procedimento conhecido como Tambor-Pulmão-Corda clássico. As experiências mostraram que, apesar de efetivo, o DBR clássico apresenta algumas dificuldades (SCHRAGENHEIM; DETTMER, 2001; SCHRAGENHEIM; DETTMER; PATTERSON, 2009; SCHRAGENHEIM, E.; WEISENSTERN; SCHRAGENHEIM, A., 2006):

Identificar a restrição pode ser difícil;

- Quando uma restrição muda de lugar, reprogramação e repriorização extensas são necessárias;
- O uso de tempo como fator de determinação de pulmões e, consequentemente, de prioridades, é problemático em ambientes de produção para estoque;
- A subordinação de uma implantação DBR clássico em um subsistema, que tenha que ser sincronizado com um sistema maior, é problemática; e



- Mudanças na programação do RRC devido a mudanças nos pedidos são difíceis.

Para eliminar estes problemas e facilitar a implantação, foi desenvolvida a versão simplificada do DBR, ou S-DBR. Este é um sistema proposto por Schragenheim e Dettmer (2001), apresentado em mais detalhes por Schragenheim, E., Weisenstern e Schragenheim, A. (2006) e, especialmente, por Schragenheim, Dettmer e Patterson (2009). Vale destacar que, quando o DBR clássico é implantado em um ambiente no qual a restrição está claramente no mercado, ele se converte em uma versão básica do S-DBR.

O pressuposto fundamental do S-DBR é que a demanda de mercado é a principal restrição mesmo quando há uma restrição de capacidade interna. Contudo, as necessidades impostas pelo mercado algumas vezes entram em conflito com a completa exploração do RRC. As ramificações desta premissa são (SCHRAGENHEIM; DETTMER, 2001):

- Ao se decidir como explorar o RRC, deve-se cuidadosamente considerar o impacto de longo prazo desta decisão no mercado. Um pedido de um cliente que consome grande quantidade de capacidade do RRC não deveria ser recusado, uma vez que este pedido poderia ser importante no relacionamento de longo prazo;
- Uma vez assumido um compromisso com o mercado, o dano de não satisfazê-lo completamente poderia ser consideravelmente mais severo que o incorrido ao sacrificar alguma capacidade do RRC (mantendo algum nível de capacidade protetiva ou em excesso);
- As duas ramificações anteriores implicam em que sempre que um RRC está ativo (sem capacidade protetiva) está-se diante de uma situação de restrição interativa. Neste caso, tanto o RRC quanto a demanda de mercado são restrições. O RRC poderia restringir o Ganho da empresa agora, mas como (ou quão bem) as demandas de mercado forem satisfeitas afetarão o Ganho no futuro; e
- Restrições internas de capacidade podem vir e ir, mas a restrição de mercado está sempre presente. Para que se possa efetivamente e constantemente subordinar-se à demanda de mercado, torna-se necessário manter algum nível de capacidade protetiva no RRC.

Devido à ramificação quatro, pode-se argumentar que, na maioria dos casos em que se está garantindo capacidade protetiva ao RRC, não há necessidade de se aderir a um programa detalhado para o RRC, como o faz o método DBR clássico.

Esta conclusão leva a uma segunda importante premissa do S-DBR, a de que pequenas mudanças na sequência de processamento real no RRC não têm grande impacto no desempenho global do sistema. Essas são as regras básicas do S-DBR (SCHRAGENHEIM; DETTMER; PATTERSON, 2009):

- O Tambor é baseado em ordens firmes. Conforme os pedidos chegam, deve-se fazer uma rápida checagem da carga total sobre o RRC. Enquanto o RRC não estiver muito carregado (mantendo algum nível de capacidade protetiva), o pedido é aceito. Quando a capacidade do RRC parece estar comprometida a ponto de não se poder assegurar entregas no prazo, medidas de curto prazo devem ser tomadas no sentido de aliviar a carga sobre o RRC;
- Ao contrário do DBR clássico, o único pulmão mantido é o Pulmão de Mercado ou Pulmão de Produção, o qual significa liberar material um Pulmão de Produção (medido na forma de tempo) antes da data de entrega do pedido correspondente. Ainda que, na ausência de um pulmão de recurso, o RRC não esteja completamente protegido com a presença de um banco de trabalho para ele, na maioria dos casos, suficiente trabalho irá se acumular naturalmente na frente do RRC, garantindo-lhe um bom fluxo. Mesmo que o RRC fique alguns momentos sem material para trabalhar, o efeito disso se limita a apenas um pequeno consumo de sua capacidade protetiva. Assim, manter esta capacidade protetiva, a qual ajuda a garantir bons desempenhos nas datas de entrega, tende a ser mais do que compensado pelo Ganho futuro resultante de uma completa subordinação ao mercado; e
- A Corda deixa de ser amarrada ao programa de produção do RRC, como o faz o DBR clássico. No S-DBR, material é liberado em função dos pedidos firmes dos clientes. Altas cargas transitórias no RRC são evitadas com algumas medidas de curto prazo, como horas extras, ou de médio prazo, como ajustar preços para cima ou cobrar um prêmio por entregas em prazos mais curtos.

Para que tais medidas de ajustes da demanda ou da capacidade possam ter suas necessidades identificadas a tempo, uma adequada ferramenta de controle se faz necessária. Schragenheim e Dettmer (2001) sugerem dois mecanismos de controle para o S-DBR. O primeiro deles é o BM, o qual é apresentado com algumas pequenas variações em relação ao BM

clássico. Um tempo denominado de “linha vermelha” (*red-line time*) é definido de forma que, quando o tempo restante antes do pedido ser embarcado é menor que o tempo de linha vermelha, um aviso é dado para que a gerência da produção tome as ações necessárias para apressar este pedido. Quando o número de penetrações na linha vermelha cresce acentuadamente, um gargalo real está emergindo e medidas associadas a alívios de carga neste recurso precisam ser tomadas. O uso das cores preta, vermelha, amarela e verde, conforme anteriormente apresentado, se mantém na abordagem simplificada.

O segundo mecanismo de controle do S-DBR apresentado pelos autores, que complementa o BM, recebe o nome de Carga Planejada. Schragenheim, Dettmer e Patterson (2009) a definem como o acúmulo de carga no RRC resultante de todos os pedidos firmes que têm que ser entregues dentro de certo horizonte de tempo.

A Carga Planejada é uma estimativa do tempo médio necessário para que o RRC processe tudo o que a companhia se comprometeu a entregar. Para se saber se um gargalo está emergindo, compara-se a carga planejada no RRC (em horas) imposta pelos pedidos a serem entregues dentro de um determinado horizonte de tempo com a quantidade de horas de trabalho permitidas pelo próprio horizonte de tempo.

Por exemplo, se uma empresa trabalha oito horas por dia e o horizonte de tempo em análise é de cinco dias, deve-se comparar a carga planejada do RRC com as 40 horas de trabalho permitidas neste horizonte. Se todos os pedidos a serem entregues nos próximos cinco dias impõem uma carga sobre o RRC de 25 horas, não há porque suspeitar da existência de um recurso gargalo ao se observar este horizonte de planejamento. Esta informação é geralmente suficiente para gerar um aviso de um problema potencial, como o surgimento de um gargalo, muito antes da informação fornecida pelo BM, permitindo ações remediadoras com mais antecedência.

A implantação do S-DBR passa por algumas etapas e deve atender a algumas premissas, como as relatadas na seção 5, a seguir. Tal implantação, contudo, possui alguns fatores complicadores, como, por exemplo, garantir as promessas de entrega aos clientes com prazos menores que os de mercado. Esta questão será alvo de análise e proposição no item seis deste artigo.

## 5 Lógica da implantação

Esta seção, para fins de um melhor entendimento da implantação do S-DBR, focaliza a proposta da TOC para ambientes de produção sob encomenda (*Make to Order* ou MTO) por ser esta a base de todas as demais soluções TOC desenvolvidas e por ser a forma de operação de muitas empresas que alimentam uma cadeia de consumo baseada em estoques. Na

sequência, as principais etapas envolvidas no processo de implantação do S-DBR são apresentadas.

### 5.1 Estabilizando o sistema de produção

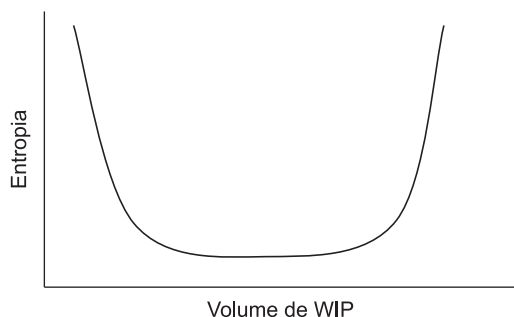
Para implantar o S-DBR, deve-se iniciar o processo estabilizando a operação e permitindo que ela atinja um alto desempenho de entrega em um curto intervalo de tempo. Estabilidade significa que as pessoas não têm que saltar de pedido em pedido para garantir entregas no prazo, nem têm prioridades conflitantes com várias pessoas dando instruções contraditórias, nem pressões para trabalhar em pedidos que a empresa não terá capacidade de entregar (GOLDRATT, [200-b]).

Um aspecto importante aqui é que as prioridades estejam claras e definidas de forma simples, que as ações necessárias, incluindo aquelas relativas aos departamentos de suporte, estejam priorizadas e que o objetivo (cumprir com os compromissos assumidos) é não só dito, mas realmente orienta toda a operação. Participação e senso de realização também são fundamentais, os quais vêm do fato de que a subordinação ao objetivo comum abre a possibilidade de que as contribuições do pessoal gerem resultados significativos em pouco tempo, reforçando e aumentando a realimentação positiva deste ciclo (GOLDRATT, [200-b]).

Para tanto, o primeiro passo para a implantação do S-DBR é adequar o volume de estoque em processo (WIP – *work-in-process*). Para isso, um ponto importante é a relação entre o tempo de toque (da ferramenta ou das mãos do operador) na peça ou produto e o tempo de produção total (*lead time* de produção): comumente, como já dito, 10% ou menos do tempo total correspondem ao tempo de toque (GOLDRATT, 2009). Isto quer dizer que, na maior parte do tempo, os pedidos estão esperando em filas pelos recursos. E também quer dizer que, se o objetivo é melhorar o sistema significativamente, deve-se atuar sobre as filas. O volume de estoque nas filas é o fator determinante do WIP no sistema. Porém, como este volume afeta as operações?

Uma curva de comportamento das operações segundo o volume de WIP é apresentada em Goldratt (2009) e reproduzida na Figura 1.

Segundo a Figura 1, se há muito pouco WIP, não há tempo hábil para processar todo o material, já que o nível de WIP está altamente correlacionado com o *lead time*, e muitas intervenções serão necessárias para entregar os pedidos a tempo. Para melhor entender este ponto, suponha-se que material foi liberado, antes da data de entrega, em um tempo equivalente ao que realmente é necessário para processar a ordem. Tal escolha exigirá muita atenção gerencial para monitorar de perto as operações, uma vez que um atraso em qualquer operação ou transporte de peça resultará no não atendimento do prazo prometido.



**Figura 1.** Relação entre níveis de estoque em processo e entropia.

Logo, programações precisas irão necessitar que se assegure que nenhuma fila ocorrerá, pois qualquer fila resultaria em atrasos das peças, os quais não estavam previstos quando da definição do prazo de entrega. Neste caso, o sistema apresenta um nível de confusão (entropia) elevado.

No extremo oposto, quando há muito WIP, o fluxo fica congestionado. Neste caso, as prioridades se confundem (deve-se formar um lote maior agrupando pedidos ou seguir as datas de entrega?), as filas se formam em quase todas as partes, departamentos de apoio (qualidade, manutenção etc.) não conseguem saber onde é importante atuar etc. Logo, tem-se uma dificuldade alta de entregar no prazo sem esforços consideráveis, exceto no caso de operações que produzem somente um produto.

O ponto principal do gráfico da Figura 1, porém, é a sua região central: uma zona relativamente grande em que o volume de WIP não gera problemas típicos dos extremos. Por ser uma região relativamente grande e devido à variabilidade inerente aos processos usados em operações, não é razoável tentar determinar um volume exato de WIP que melhora o fluxo, bastando um valor aproximado para gerar os benefícios esperados e um mecanismo de controle para se certificar de que se está nesta região à medida que o sistema evolui. A ideia aqui é cortar a *lead time* atual em cerca de 50%, definindo um valor inicial para o Pulmão de Produção. Tentar refinar o valor exato de WIP que o sistema deveria ter, uma vez dentro desta zona, é, para Goldratt (2009), tentar otimizar no ruído.

## 5.2 Estabelecendo prioridades

Para Goldratt (2009), a implantação deste passo simples faz com que a confusão no fluxo de operações reduza consideravelmente, o *lead time* diminua e o desempenho de entrega (DDE) suba rapidamente. Porém, este passo não é suficiente. Para estabilizar o sistema (no sentido do controle estatístico), é necessário, além de evitar bloqueios no fluxo causados por excesso de WIP, restaurar a ordem relativa dos

pedidos quando passam por recursos diferentes. Ou seja, é necessário um sistema efetivo de prioridades.

O BM, conforme já apresentado, cumpre com este papel. A sequência de cores define as prioridades no momento de escolher o próximo pedido/ordem a ser processado em qualquer ponto do fluxo. Isto faz com que todos os envolvidos com o fluxo saibam como gerenciar as filas que surgem quando mais de um pedido/ordem aguarda para ser processado, e também define a base para recolher estatísticas de controle do fluxo para saber se existem nele problemas específicos e onde estes problemas se localizam.

Para Goldratt (200-a), tanto a Manufatura Enxuta quanto a abordagem Seis Sigma defendem a melhoria de processos e operações, mas somente quando o ambiente de Operações como um todo está estabilizado e um sistema de prioridades é estabelecido é que se pode realmente saber onde estas melhorias devem ser focadas.

## 5.3 Estabelecendo datas de entrega confiáveis

Com a implantação desses passos, a tendência é que um grande número de ambientes passe a ter um DDE de 99% ou mais (GOLDRATT, 2009). Devido a isto, em alguns casos, o volume de pedidos tende a aumentar, superando a capacidade física de entrega ou comprometendo a capacidade no futuro. O próximo passo é, por conseguinte, lidar com os RRC, adequando a sua capacidade.

À medida que o DDE aumenta, a área de vendas terá mais facilidade de vender (menos tempo perdido acompanhando pedidos atrasados, acalmando clientes etc.) e a integração com vendas deve ser realizada rapidamente. Neste passo, deve-se possuir um mecanismo de integração com a área de vendas para permitir que o DDE permaneça alto não importando o quanto aumentem as vendas. Isto é feito calculando-se a carga planejada (SCHRAGENHEIM; DETTMER; PATTERSON, 2009) no RRC e, baseado nesta, calcula-se a primeira data viável de entrega e o momento da liberação de material, conforme a Figura 2 (GOLDRATT, 200-b).

A carga planejada no RRC é dada pelo tempo de processamento de todos os pedidos ainda não processados pelo RRC que tenham ou não sido liberados para o chão de fábrica, em um horizonte de tempo predefinido. A sequência de trabalho não é importante neste cálculo. Na frente da carga, à direita, coloca-se o tempo de processamento correspondente ao novo pedido. Contando-se meio pulmão de produção antes deste momento, obtém-se a data de liberação do pedido/ordem para produção. Contando-se meio pulmão de produção após este momento, obtém-se a data viável mais próxima para a qual se pode prometer a entrega. Qualquer data desta em diante é viável

(SCHRAGENHEIM; DETTMER; PATTERSON, 2009).

O uso de meio pulmão de produção antes e depois da carga planejada foi inicialmente proposto em Schragenheim (200-). Segundo o autor, esta é uma decisão típica das premissas TOC, isto é, a solução deve ser simples e aproximadamente correta. Como há um único pulmão, a decisão é liberar material 1/2 pulmão antes do momento em que o RRC supostamente irá processá-lo. É assumido que dentro de 1/2 pulmão de produção há tempo suficiente para que uma quantidade satisfatória de ordens se acumule à frente do RRC, evitando desnecessários períodos de ociosidade deste recurso. Da mesma forma, 1/2 pulmão de produção adicionado após o RRC permite tempo suficiente, com elevada probabilidade, para a ordem passar pelo RRC e todas as demais operações até a sua conclusão.

O autor sugere ainda que esta divisão do pulmão de produção, para definir os momentos de liberação de material e as datas de entrega que podem ser prometidas com elevada confiabilidade, não deveria ser modificada em função da posição do RRC no roteiro de produção. Lee et al. (2010) acreditam que posicionamentos do RRC nos extremos do roteiro deveriam levar a divisões distintas do pulmão de produção e sugerem uma forma de fazer isso.

Caso o prazo padrão (*lead time* do setor) de entrega seja substancialmente maior que esta data (Figura 3), a empresa possui então um nível de capacidade protetiva que lhe permite a oportunidade de segmentar os clientes por grau de urgência e cobrar de acordo com esta.

Neste gráfico, pode-se notar que o pulmão de produção foi ampliado para que o pedido seja prometido e entregue em uma data de acordo com o prazo de entrega padrão da indústria. Com isso, cria-se um pulmão específico deste pedido, denominado de pulmão de pedido, que pode ser diferente de todos os demais, mas segue a mesma lógica de prioridades e de liberação de materiais. Este pedido terá mais

tempo na região “verde” do seu pulmão, portanto, dará chance a outros pedidos, os quais podem estar nas regiões “amarela”, “vermelha” ou “preta”, para o ultrapassarem. Esse procedimento apresenta duas vantagens: não desperdiça a capacidade do RRC, pois, se não houver pedidos mais prioritários, este pedido mantém o RRC em funcionamento; e mantém as prioridades corretas, não deixando outros pedidos mais prioritários para trás, já que este pedido demora mais para trocar de cores. A data de liberação de material continua sendo, portanto a carga planejada menos meio pulmão de produção (GOLDRATT, 200-b).

Uma abordagem complementar, baseada nesta percepção, é sugerida em Schragenheim (200-). Nela, o autor propõe um mecanismo baseado no dimensionamento de capacidade para atender a pedidos urgentes e/ou com prazos inferiores ao padrão da indústria. A ideia é calcular a carga planejada para os pedidos regulares considerando somente parte da capacidade total disponível no RRC (por exemplo, 70% a 80% desta capacidade), deixando o restante para acomodar os pedidos que exigem Resposta Rápida (RR).

Para se compreender melhor este conceito, suponha uma empresa que trabalha oito horas por dia, cinco dias por semana. Suponha-se também que o prazo padrão da indústria da qual esta empresa faz parte seja de 20 dias ou 160 horas de trabalho. Além dos prazos regulares, a empresa oferece entregas com prazos de 10 dias (80 horas de trabalho) e de cinco dias (40 horas de trabalho). O Pulmão de Produção desta empresa é também de 40 horas.

Atualmente, a carga planejada sobre o RRC é de 90 horas de trabalho, porém, ela optou por considerar 75% de sua capacidade para atendimento dos pedidos regulares e 25% para os pedidos RR. Assim, apenas seis horas diárias (75% de 8 horas) serão consideradas no cálculo da carga planejada para atendimento dos pedidos regulares, exigindo do RRC 15 dias (90/6) de trabalho. Um pedido regular recebido pelo setor de vendas poderia ser entregue em 17,5 dias (15 dias

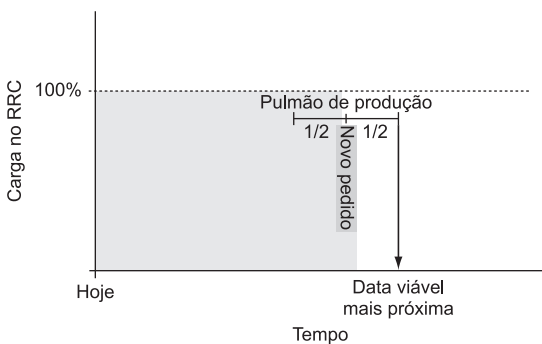


Figura 2. Definição de data viável de entrega em função da carga de trabalho no RRC.

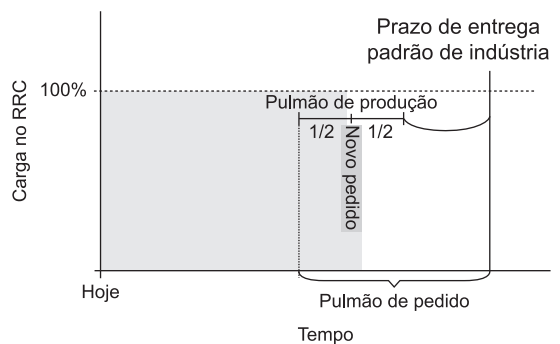


Figura 3. Estendendo a data de entrega viável.



de carga planejada mais 2,5 dias referentes a meio pulmão de produção), portanto, 2,5 dias antes do prazo da indústria. Mas, a empresa, seguindo suas diretrizes mercadológicas, optou por prometer entregar em 20 dias. Daqui a 12,5 dias (15 dias de carga planejada menos 2,5 dias referentes a meio pulmão de produção), o material será liberado para atender a este pedido.

Pedidos com prazos de entrega de 10 ou 5 dias serão aceitos confiando-se na suficiência dos 25% de capacidade dedicada aos pedidos rápidos. Pedidos com prazo de 10 dias terão seus materiais liberados após 5 dias (10 dias para entrega menos 5 dias de pulmão) e pedidos prometidos para entrega em 5 dias terão seus materiais correspondentes liberados ao chão de fábrica imediatamente (5 dias de prazo menos 5 dias de pulmão).

Para obter informações antecipadas sobre a factibilidade de atendimento destes pedidos RR já aceitos, a empresa pode optar por calcular a carga planejada sobre o RRC dos pedidos a serem entregues entre hoje e os próximos 5 dias ou entre hoje e os próximos 10 dias. Se estas cargas forem, respectivamente, inferiores a 2,5 dias (5 dias de prazo menos meio pulmão de 5 dias) e 7,5 dias, os prazos deverão ser cumpridos sem maiores problemas. Caso contrário, ações de ampliação de capacidade de curto prazo poderão ser necessárias. O leitor deve se atentar para o fato de que esta verificação é normalmente feita após o pedido ter sido aceito.

A aplicação do BM poderá ajudar na priorização destas ordens e, conseqüentemente, levar a uma execução satisfatória nos prazos prometidos. A frequência de ordens vermelhas e a verificação dos prazos de entrega a que elas se referem podem, todavia, sinalizar a necessidade de modificação dos percentuais de reserva de capacidade adotados. Na próxima seção deste artigo, esta abordagem será alvo de análise e uma forma alternativa de lidar com pedidos RR será proposta.

#### 5.4 Gerenciando a capacidade

Os passos até aqui seguidos são suficientes para estabilizar o sistema, mas não são suficientes para sincronizar a capacidade de produção com o aumento de vendas. Se as datas viáveis para pedidos regulares forem maiores que o prazo padrão de entrega do setor, a companhia pode começar a ter problemas. A chave aqui é notar que, no momento que clientes começam a recusar os prazos dados, mesmo com um DDE muito alto, isso significa que mais capacidade deve ser instalada. Isto pode ser feito com mais mão de obra – que é somente parte da despesa operacional – o que deve gerar lucros adicionais quando há um aumento de vendas, ou via equipamentos produtivos adicionais (GOLDRATT, 200-b).

O ponto principal é estabelecer um grupo de monitoramento de capacidade nos RRC e de preparação das ampliações. Entende-se, por preparações, tudo o que pode ser feito antes de ativar a ampliação de capacidades, como levantamento e pré-seleção de pessoal, especificações detalhadas de equipamentos, pré-seleção de fornecedores, criação de planos de transição etc. (GOLDRATT, 200-b).

#### 5.5 Estabelecendo um processo de melhoria contínua

Ainda que, com as ações anteriores, se possa esperar que a produção esteja estável e integrada com o crescimento das vendas, a empresa poderá potencializar seus resultados se houver formas de capitalizar em prazos de entrega ainda mais curtos para clientes com pedidos urgentes.

Ao cortar a *lead time* de produção para 50% do que era, aumenta-se o fluxo enquanto ainda existe suficiente estoque em processo para proteger os RRC. Sabendo que o tempo de toque é 10% ou menos do que o *lead time* original, pode-se reduzir a variabilidade (em tempos, perdas etc.) dos demais recursos (que não o RRC), o que permite reduzir ainda mais o *lead time* de produção e revelar mais capacidade oculta. Para tanto, programas de melhoria local são estabelecidos e constantemente guiados pela informação do BM. Os pulmões planejados no S-DBR são ajustados apropriadamente (GOLDRATT, 200-b). Este passo mostra que apenas focar no RRC não é suficiente, pois os demais recursos podem ter uma variabilidade significativa que perturba o fluxo, impedindo que se produza mais e mais rápido.

A essência da análise de Gerenciamento de Pulmão é criar foco para as iniciativas de melhoria. Acumular os fatores que fazem um pedido esperar, levando-o a sua não conclusão, mesmo depois de passados dois terços de seu pulmão de tempo, e criar um gráfico de Pareto destes fatores permitem que as iniciativas de melhoria tenham um foco, isto é, pode-se identificar o elemento pelo qual os pedidos mais esperaram no período avaliado. Ehie e Sheu (2005) e Pirasteh e Farah (2006) relatam interessantes resultados que podem ser obtidos quando técnicas baseadas na Manufatura Enxuta e/ou em projetos Seis Sigmas são conjuntamente utilizadas com o foco proporcionado pela TOC.

À medida que os programas atacam as causas mais comuns de esperas, o fluxo vai se tornando mais homogêneo e cada vez menos os pedidos entram na região vermelha do pulmão. Quando um número menor de pedidos penetra na região vermelha, o pulmão pode ser reduzido sem colocar em risco o DDE (GOLDRATT, 200-b).

## 6 Proposta complementar para lidar com pedidos urgentes

Entregas confiáveis fazem parte da essência da abordagem S-DBR (e de sua forma clássica também) e os passos necessários a sua implantação demonstram isso. Para tanto, considerar as limitações de capacidade do RRC é fundamental e o cálculo da carga planejada é a ferramenta que o S-DBR utiliza para isso.

Contudo, conforme visto na seção anterior, o uso da carga planejada é explicitamente atendido no estabelecimento de datas de entrega para pedidos regulares, mas é apenas indiretamente utilizado, na forma de reserva de capacidade, quando pedidos RR são considerados. Pedidos RR, desta forma, são aceitos sem que as limitações de capacidade sejam efetivamente verificadas, cabendo ao BM e à gestão de capacidade de curto prazo o papel de garantir entregas no prazo. Para se evitar esta situação, é sugerida aqui uma proposta alternativa e complementar ao mecanismo de reserva de capacidade e à sistemática apresentada por Lee et al. (2010).

A dificuldade em garantir entregas com prazos inferiores ao padrão da indústria, como pedidos urgentes, por exemplo, advém do fato de que os pedidos que devem ser entregues dentro destes prazos menores interferem naqueles cujos prazos são maiores e já estão compromissados com os clientes, empurrando-os para frente no tempo. Ao atrasar o início da execução destas ordens, o cumprimento de seus prazos pode não ser mais possível. Como então prometer prazos de entregas urgentes, considerando níveis já comprometidos de capacidade do RRC, sem colocar em risco datas posteriores já compromissadas?

A proposta que aqui se apresenta se baseia na exploração das potencialidades permitidas pelas atuais tecnologias de informação. A ideia central é que, no momento em que um pedido regular *i* qualquer é aceito, calcula-se seu tempo de folga (ST, de *slack time*) como sendo seu prazo de entrega (prometido) subtraído da carga atual no RRC e de meio de pulmão, medidos em horas, preferencialmente. O ST do último pedido regular aceito é, portanto, uma medida da capacidade protetiva atual do RRC. A Equação 1 e a Figura 4 ilustram o conceito.

$$ST_i = DD_i - CP - \frac{1}{2} PP \tag{1}$$

em que:

- ST<sub>*i*</sub> = Folga do pedido *i*;
- DD<sub>*i*</sub> = Data devida para entrega do pedido *i*;
- CP = Carga planejada no RRC;
- PP = Pulmão de Produção.

Segundo a proposta que se apresenta, os ST<sub>*i*</sub> calculados no momento em que uma ordem regular é aceita passam a ser os fatores centrais na determinação de capacidade disponível no RRC para atender a pedidos RR. As seguintes etapas, com suas respectivas

fases intermediárias, são sugeridas segundo o que se propõe:

- Etapa 1. Sempre que o setor de vendas recebe um pedido RRj qualquer, subtrai-se a carga que este impõe ao RRC dos ST de cada dos *m* pedidos cujas datas de entrega são posteriores à data solicitada deste pedido RR, conforme a abordagem a seguir (Equação 2):  
Para *k* variando de 1 a *m*, calcular

$$STRR_{jk} = ST_k - C_j \tag{2}$$

em que:

- STRR<sub>*jk*</sub> = folga do pedido RRj, em análise, em relação ao pedido *k*;
- ST<sub>*k*</sub> = folga atual do pedido *k* já aceito e com data posterior ao pedido *j* em análise; e
- C<sub>*j*</sub> = carga imposta pelo pedido *j* em análise.

Quando STRR<sub>*jk*</sub> for maior ou igual a zero, esta variável assume a cor verde. A cor vermelha é associada ao pedido com STRR<sub>*jk*</sub> menor que zero.

- Fase 1.1. Se os STRR<sub>*jk*</sub> são todos verdes, o pedido pode ser aceito e atualizam-se os valores dos ST destes *m* pedidos, fazendo-os iguais aos seus respectivos STRR<sub>*jk*</sub>.

1.1.1. O pedido RRj aceito assume um valor ST igual à sua data de entrega subtraída de um montante equivalente à soma da carga imposta no RRC por todos os pedidos com prazos anteriores ao seu com meio pulmão de produção, aplicando-se o mesmo conceito utilizado no cálculo da folga para os pedidos regulares. A Equação 3 traz esta ideia.

$$STRR_j = DD_j - (CPH_j + \frac{1}{2} PP) \tag{3}$$

em que:

- STRR<sub>*j*</sub> = folga do pedido *j* aceito para ser entregue na data DD<sub>*j*</sub>;
- DD<sub>*j*</sub> = data prometida para entrega do pedido *j*; e

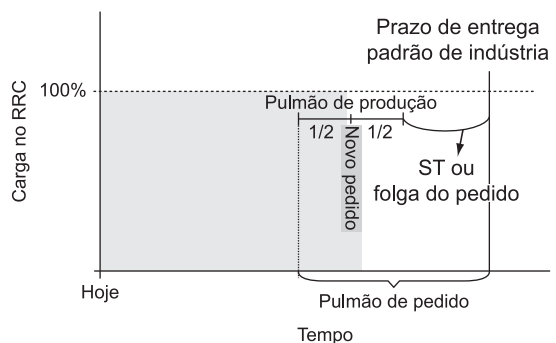


Figura 4. Cálculo do ST de um pedido regular.

$CPH_j$  = carga planejada sobre o RRC considerando apenas os pedidos a serem entregues em um horizonte de tempo  $H$  inferior a  $DD_j$ .

- Fase 1.2. Goldratt (1990), ao apresentar a dinâmica do método DBR clássico, afirma ser possível entregar um pedido no prazo mesmo quando metade do pulmão de mercado foi consumida. Considerando que no DBR clássico, diferentemente do S-DBR, o pulmão de mercado compreende apenas as etapas do processo produtivo localizadas entre o RRC e a expedição, o parâmetro equivalente ao S-DBR aqui adotado é de  $\frac{1}{4}$  do pulmão de produção. Desta forma, se houver ST vermelhos, porém com valores absolutos inferiores a  $\frac{1}{4}$  do pulmão de produção, e a quantidade de pedidos nesta condição for considerada administrável (por exemplo, não mais que 10%), o pedido poderá ser aceito. Porém, o aceite deve levar em consideração os riscos associados e, provavelmente, estar associado a um plano de contingência de gestão de capacidade de curto prazo.
- Fase 1.3. Se o pedido urgente não puder ser aceito no prazo solicitado pelo cliente, o prazo mais curto e confiável a se oferecer deveria ter como referência o primeiro pedido com ST vermelho identificado retrocedendo no tempo a partir do pedido aceito mais distante no tempo (porém, ainda dentro do horizonte de tempo de planejamento). Uma sugestão é oferecer o mesmo prazo do pedido com ST verde imediatamente à frente (data de entrega posterior) do mencionado pedido com ST vermelho. Prazos inferiores a este deveriam considerar os fatores e riscos apresentados em 1.2. Se aceite o pedido, atualizações como as sugeridas em 1.1.1 são necessárias.
- Fase 1.4. Independentemente das cores dos ST dos pedidos, o menor prazo de entrega a ser oferecido não deve ser inferior a um pulmão de produção a partir da data atual.
- Etapa 2. Definidas as datas de entrega dos pedidos RR aceitos, os momentos de liberações de material ao chão de fábrica são calculados segundo as recomendações convencionais, subtraindo destas um pulmão de produção. Apesar do exato momento de processamento no RRC dos pedidos regulares terem sido afetados pela inserção de pedidos RR, suas datas de liberação de material devem ser mantidas.

Há uma forma alternativa para se determinar os momentos de liberação de material ao chão de fábrica, mas cujo uso não é imperativo. Esta forma consiste em liberar material segundo o *status* do pulmão. Materiais referentes a pedidos com maiores *status* têm prioridade sobre os demais. Materiais são liberados até que a carga sobre o RRC (calculada agora considerando apenas os pedidos já liberados para o chão de fábrica, mas ainda não processados pelo RRC) alcance um valor limite equivalente a meio pulmão de produção. Como, em princípio, materiais devem ser liberados com *status* zero (um pulmão de pedido antes da data de entrega), liberação de materiais referentes a pedidos com *status* positivo pode significar perda de capacidade do RRC. Liberação de materiais referentes a pedidos com *status* negativo pode significar algum adiantamento no processamento dos pedidos no RRC.

Este procedimento deve possibilitar à empresa uma nova oportunidade de integração entre operações e vendas, permitindo a oferta de pedidos RR considerando as reais limitações de capacidade do RRC.

## 7 Considerações finais

O método DBR clássico, ao estimular o uso de capacidade protetiva na maior parte dos recursos produtivos, permitindo que estes operem subordinadamente ao programa de um único recurso restritivo, simplificou sobremaneira a forma de se planejar e controlar a produção. Não obstante, o método S-DBR, ao induzir capacidade protetiva até mesmo no RRC, ao manter um único pulmão atravessando todo o roteiro de produção e ao eliminar a necessidade de se programar detalhadamente o RRC, simplificou ainda mais o planejamento das operações e sua relação com a área de vendas. A flexibilidade do S-DBR em poder conferir em tempo real as disponibilidades de capacidade do RRC e oferecer datas de entrega com elevada confiabilidade de cumprimento fez dele o método preferido em implantações atuais da TOC.

Neste artigo, o método S-DBR, em conjunto com o mecanismo de BM para controle da produção, foi apresentado em detalhes, proporcionando aos pesquisadores na área a oportunidade de conhecê-lo. Contudo, oportunidades de melhorias deveriam ser exploradas. Neste sentido, foi aqui proposta uma abordagem complementar ao S-DBR, especificamente voltada para permitir a identificação de espaços disponíveis na capacidade do RRC e, a partir disso, oferecer entregas rápidas e confiáveis para pedidos com prazos menores que o padrão da indústria. O fato de esta proposta evitar o uso de reserva de capacidade e considerar a capacidade finita do RRC na análise do aceite destes pedidos é o seu mérito principal.

Além de necessitar de validação prática, este método possui alguns aspectos negativos. O principal deles é que ele aumenta a complexidade na gestão das operações, exigindo um maior poder de análise do tomador de decisão. Outro ponto negativo é o aumento da dependência de sistemas de informação especificamente projetados para esta finalidade. Ainda que os algoritmos necessários ao seu funcionamento não sejam de todo complexos, a adaptação de sistemas não TOC de gestão tradicionais, para que este incorpore tal lógica, seria uma tarefa complicada.

Uma vantagem, contudo, permitida pelo método aqui proposto, é que ele define *status* de folga (na forma numérica ou de cores) para todas as ordens aceitas, independente de seus prazos de entrega. Se um histograma dividido por faixas de prazos de entrega for gerado, em que a cada faixa de prazo de entrega há duas colunas, uma representando o número de ordens com cor vermelha (folga negativa) e a outra as ordens de cor verde (folga nula ou positiva), o gestor poderá rapidamente identificar, visualmente, em que momentos futuros o RRC está mais sobrecarregado e se preparar para uma eventual adição de capacidade.

Finalmente, o uso de reservas de capacidade parece ser essencialmente necessário em ambientes híbridos, no qual parte das ordens é fabricada sob encomenda, com um cliente claramente definido, e parte é para estoque (SCHRAGENHEIM; DETTMER; PATTERSON, 2009). O método aqui proposto não elimina a necessidade de se reservar capacidade para ambientes com tais características.

## Referências

- BETTERTON, C. E.; COX, J. F. III. Espoused drum – buffer – rope flow control in serial lines: A comparative study of simulation models. **International Journal of Production Economic**, v. 117, n. 1, p. 66-79, 2008.
- CHAKRAVORTYA, S. S.; ATWATERB, J. B. The impact of free goods on the performance of drum-buffer-rope scheduling systems. **International Journal of Production Economics**, v. 95, n. 3, p. 47-357, 2005.
- EHIE, I.; SHEU, C. Integrating six sigma and theory of constraints for continuous improvement: a case study. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 16, n. 5, p. 542-553, 2005.
- GOLDRATT, E. M. **The haystack syndrome**: sifting information out of the data ocean. Great Barrington: North River Press, 1990.
- GOLDRATT, E. M. **Lean, Six Sigma and TOC**. [200-]. Disponível em: <https://www.toc-goldratt.com/>. Acesso em: ago. 2008. Apresentação em vídeo disponível para aquisição no endereço eletrônico.
- GOLDRATT, E. M. **Strategies & tactics**: reliable rapid response. [200-]. Disponível em: <http://www.wsu.edu/~enrgmgt/holt/em534/SandTRRR.pdf>. Acesso em: ago. 2008.
- GOLDRATT, E. M. **Production the TOC way**. Great Barrington: North River Press, 2003.
- GOLDRATT, E. M. Standing on the shoulders of giants - production concepts versus production applications: the Hitachi Tool Engineering example. **Revista Gestão & Produção**, v. 16, n. 3, p. 333-343, 2009.
- GOLDRATT, E. M.; COX, J. A **Meta**. São Paulo: Nobel, 2003.
- GOLDRATT, E. M. **Lean, Six Sigma and TOC**. [200-a]. Disponível em: <https://www.toc-goldratt.com/>. Acesso em: ago. 2008. Apresentação em vídeo disponível para aquisição no endereço eletrônico. (verificar que falta acento na palavra vídeo).
- GOLDRATT, E. M. **Strategies & tactics**: reliable rapid response. [200-b]. Disponível em: <http://www.wsu.edu/~enrgmgt/holt/em534/SandTRRR.pdf>. Acesso em: ago. 2008.
- GREEN JUNIOR, K. W., SALE, M. L., INMAN, R. A. Analysis of the relationships among TOC use, TOC outcomes, and organizational performance. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 29, n. 4, p. 341-56, 2009.
- LEE, J. H. et al. Research on enhancements of TOC Simplified Drum-Buffer-Rope system using novel generic procedures. **Expert Systems with Applications**, v. 37, p. 3747-3754, 2010.
- MABIN, V. J.; BALDERSTONE, S. J. 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.
- PIRASTEH, R.; FARAH, K. Continuous improvement trio: the top elements of TOC, Lean, and Six Sigma make beautiful music together. **APICS Magazine**, p. 31-36, 2006.
- SCHRAGENHEIM, E. M.; DETTMER, H. W. **Manufacturing at Warp Speed**. Boca Raton: St. Lucie Press, 2001.
- SCHRAGENHEIM, E. **Using SDBR in rapid response projects**. [200-]. Disponível em: <http://www.inherentsimplicity.com>. Acesso em: ago. 2008.
- SCHRAGENHEIM, E. M.; DETTMER, H. W.; PATTERSON, J. W. **Supply chain management at warp speed**. Boca Raton: Taylor & Francis, 2009.
- SCHRAGENHEIM, E.; WEISENSTERN, A.; SCHRAGENHEIM, A. What's really new in Simplified DBR. In: THEORY OF CONSTRAINTS INTERNATIONAL CERTIFICATION ORGANIZATION - TOCICO, 2006. **Anais...**
- SOUZA, F. B. Do OPT à Teoria das Restrições: avanços e mitos. **Revista Produção**, v. 15, n. 2, p. 184-197, 2005.