

# UTILIZAÇÃO DO CONCEITO DE GARGALOS EM UMA LINHA DE PRODUÇÃO - UMA ANÁLISE DA INTERPRETAÇÃO DO CONCEITO

**Luciano Valente de Oliveira (UFRGS)**

lvoliveira1@gmail.com

**Samuel Vinicius Bonato (UFRGS)**

svbonato@producao.ufrgs.br

**Ricardo Augusto Cassel (UFRGS)**

cassel@producao.ufrgs.br

**Carla Schwengber ten Caten (UFRGS)**

tencaten@producao.ufrgs.br



*O presente artigo tem como objetivo analisar a implementação do conceito de gargalo produtivo no setor de usinagem de componentes de uma fabricante de armas brasileira. O estudo foi conduzido inicialmente através de um levantamento de dados qualitativos e quantitativos da situação de uma linha de produção específica e após foi realizada uma análise dos dados buscando-se identificar se os gargalos definidos realmente poderiam ser referidos desta forma. Como principais resultados, identificou-se que somente em um dos 12 períodos analisados o recurso referido foi realmente uma restrição e que a implementação do conceito de gargalo foi entendido de forma inadequada pela organização estudada.*

*Palavras-chave: Teoria das Restrições, Gargalos, TOC*

## 1. Introdução

A implementação dos conceitos da Teoria das Restrições (TOC) tem oportunizado melhorias em diversas empresas pelos saltos de produtividade possibilitados pelo seu método. Diversas empresas já utilizaram estes conceitos obtendo melhores desempenhos financeiros e operacionais. Estes ganhos foram realizados em diversos segmentos de negócios: automotivo, serviços eletrônicos, serviços espaciais, entre tantos outros (WATSON et al, 2007).

O processo da Teoria das Restrições está embasado no sistema Tambor-Pulmão-Corda. O Tambor considera a restrição do sistema e a necessidade do cliente, para então ditar o ritmo de todo o sistema, realizar a produção necessária para atendimento do cliente. O Pulmão realiza o papel de amortizador das possíveis variações que o sistema enfrentará. O seu intuito é o de proteger o desempenho de problemas provenientes de falhas de fornecimento, abastecimento da produção, materiais defeituosos e diversos outros possíveis. “A corda é o último link que comunicará efetivamente o resto das operações necessárias para suportar o tambor e garantir o controle efetivo destas ações” (COX e SCHLEIER, 2009, p. 189).

Apesar disso, em muitos casos, interpretações errôneas dos conceitos da TOC acabam prejudicando o desenvolvimento de mudanças que, em um primeiro momento, deveriam trazer benefícios para a organização e, devido a estas interpretações distorcidas, acabam dificultando ainda mais o gerenciamento do negócio.

Nesse sentido, o presente artigo tem como objetivo analisar a implementação do conceito de gargalo produtivo no setor de usinagem de componentes de uma fabricante de armas brasileira que implementou o método da Teoria das Restrições em uma de suas plantas fabris. Dentre os modelos de armas de fogo incluem-se revólveres, pistolas, metralhadoras e armas longas, concebidas tanto para os mercados das forças militares e policiais como também para o mercado civil. Esta artigo também irá relacionar a contextualização em que o sistema Tambor-Pulmão-Corda foi implementado na companhia estudada e se, dentro deste contexto, os conceitos da TOC estão aplicados de forma adequada.

Será exposta uma breve fundamentação sobre o sistema TPC e os problemas enfrentados pela empresa no período estudado. As conclusões advindas da utilização do sistema na malha produtiva da empresa são apresentados no capítulo final.

## 2. Conceituação teórica

### 2.1 Restrição

O princípio da Teoria das Restrições é de que dentro de um sistema sempre existirá uma restrição que limitará a sua capacidade produtiva (WATSON et al., 2007, p. 390). A máxima utilização de um recurso restritivo, portanto leva a máxima utilização de um sistema. Restrição é definida como qualquer barreira ou fator limitante que leve a empresa a não obtenção de sua meta (GUPTA; BOYD, 2008)

A definição para Roser et al (2002) é que um gargalo pode ser visualizado como qualquer estágio em um sistema que tenha o maior efeito na diminuição do ritmo ou na parada completa de um sistema, mesmo que somente por

um instante ou até mesmo a média consumida de tempo por um período mais longo. Goldratt (1992) define gargalo como qualquer recurso cuja capacidade seja igual ou menor que a demanda exigida deste recurso.

Para alguns autores existe diferença entre o termo “restrição” e o termo “gargalo”. Existe uma corrente de pensadores que define gargalo como uma restrição física imposta a uma empresa, vinculando o termo gargalo a uma limitação de um processo produtivo. A outra linha de pensamento utiliza o termo restrição como um substituto de gargalo, pois entende que diferentes áreas de uma empresa como marketing, contabilidade, distribuição também utilizam o mesmo conceito e definem a restrição como algo além do chão de fábrica (COX; SPENCER, 2002). Neste texto utilizaremos a linha de pensamento que o gargalo é diferente de uma restrição.

Para Lawrence e Buss (1995) existem três tipos de definição de gargalo: i) definição de curto período; ii) definição de inventário e iii) definição de produção. A definição de gargalo de curto período é de que em um longo período a demanda não irá se sobrepor a capacidade, mas que em um curto período isso realmente pode ocorrer, mas a capacidade produtiva irá crescer e alcançar a demanda, ou então, ocorrerá uma perda suficiente de mercado para que novamente a demanda seja reduzida abaixo da capacidade. A definição de gargalo de inventário é de que ao andar pela fábrica já será possível visualizar onde existe a maior pilha de inventário esperando para ser processada. Já a definição de gargalo de produção é de recursos que mais são utilizados em uma planta. Geralmente, em um horizonte amplo de planejamento, estes são os entraves de aumento dos ganhos.

## 2.2 Tipos de restrição

As restrições podem ser consideradas tanto físicas quanto políticas. Dentro destas duas categorias, existem ainda sete tipos Schragenheim e Dettmer(2000 apud Dettmer, 2000, 6-7):

- a) Mercado: Inexiste demanda ou a demanda é insuficiente;
- b) Matéria Prima/Produto: Falta de material necessário para realização do produto ou serviço;
- c) Recurso: Falta/inexistência de pessoas, equipamentos, fábricas para suprir a demanda;
- d) Financeiro: Caixa insuficiente para manutenção da operação;
- e) Fornecimento/Vendas: Inconsistência para atendimento a uma demanda (inconsistências de previsão) tanto no fornecimento quanto em vendas;
- f) Conhecimento/Competências: Informação ou conhecimento para desenvolver o negócio;
- g) Política: Leis, regulações de mercado, regras que inibem o progresso do sistema.

## 2.3 Identificando um gargalo

Visto que um gargalo é o que se denominou como o que limita os ganhos de uma empresa, a busca por uma restrição dentro de uma planta produtiva é de um recurso que possua a menor capacidade de produção. Para identificação do gargalo de produção é necessário entender perfeitamente o fluxo dos processos, utilização de uma unidade padrão de medida (unidade produzida/tempo do processo) para mensurar a capacidade de produção e também a demanda de produção para um determinado produto. Cox e Spencer (2002) recomendam a melhor

maneira de identificação de um gargalo: vá ao chão de fábrica e pergunte a um de seus empregados mais experientes.

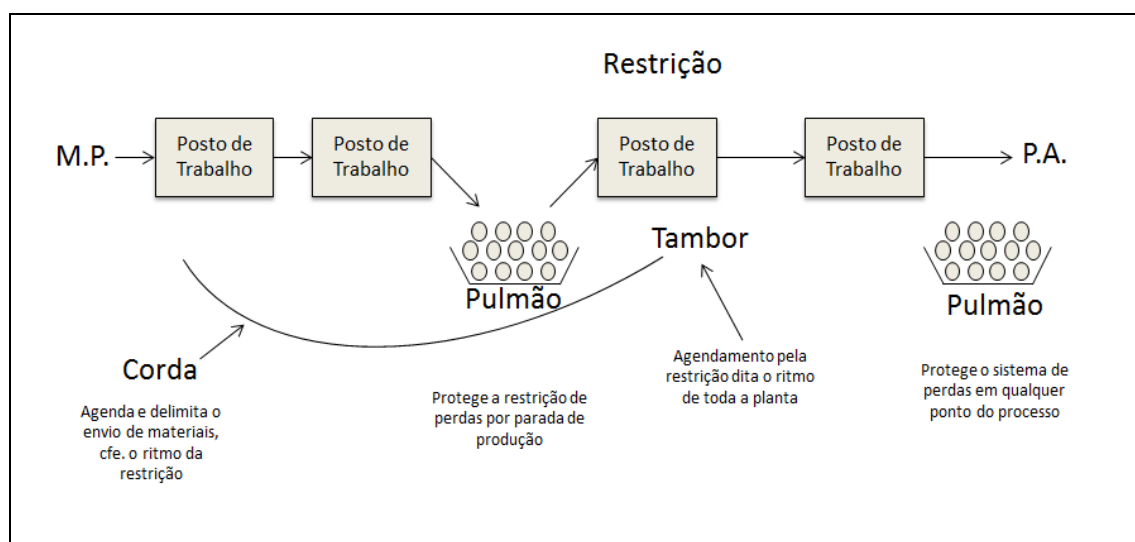
## 2.4 Sistema tambor-pulmão-corda (TPC)

Baseado no gargalo encontrado, o sistema Tambor-Pulmão-Corda (TPC) seleciona as ordens de venda com base em suas datas de entrega. A verificação diária da capacidade é realizada em cada recurso antes do lançamento de cada ordem. Para Atwater e Chakravortys (2002, p. 262) “uma programação baseada no recurso restritivo é realizada, subordinando toda a produção a este recurso”.

Betterton e Cox (2009) dizem que o tambor é considerado o ditador do ritmo, através do recurso restritivo, pelo qual é feita uma tentativa de obter a plena utilização da capacidade disponível do sistema como um todo. Já a corda libera as ordens com base nas necessidades do pulmão do recurso restritivo. A corda garante que o trabalho somente é liberado para a linha de produção até que o pulmão da restrição demande a necessidade de uma nova unidade de produção.

O pulmão é o mecanismo usado para proteger o gargalo contra interrupções. Essa proteção é criada liberando o material no processo para que chegue à frente da restrição com alguma antecedência de tempo. Podemos considerar que o pulmão é um estoque de segurança, garantindo o abastecimento da restrição por alguma eventual paralisação.

Figura 1 – Sistema TPC



Fonte: Adaptado de Cox e Schleier (1997)

## 2.4 Gargalos flutuantes

Para Woeppel (2004, p. 1) “um gargalo é um recurso sobrecarregado durante um período de tempo. Um gargalo flutuante ocorre quando uma sobrecarga muda de um recurso para outro durante um longo período de tempo. Em ambos os casos, a questão é tempo”. Para o ele existem três causas da existência de gargalos flutuantes: i)

política de gerenciamento; ii) variação durante o processo produtivo e iii) o mix de mercado (produto e volume) flutuam.

Um gargalo somente flutuará de um recurso para outro quando houver variações no quadro geral de produção. Para Schuh et al (2011, p. 506) “os processos produtivos do tipo job-shop, devido a sua forte orientação ao cliente, resulta em diversas variações dos produtos, deixando o ponto de desacoplamento no início da cadeia de valor”. Como este ponto está no início da cadeia, as possibilidades de processamento aumentam muito, logo adicionam variabilidade ao processo produtivo, aumentando a dificuldade de atendimento de acordos de níveis de serviço junto ao cliente. Os autores complementam que mudanças no mix de produção, alternativas de ocupação de recursos e convergência/divergência de fluxos de materiais são as maiores causas pelas quais um gargalo irá flutuar de um recurso para outro.

Para Antunes (1998) existe a necessidade tipificar os recursos que restringem a capacidade produtiva em Gargalos e Recursos com Capacidade Restritiva (CCR – Capacity Constraint Resource). Existe a diferença que está no motivo pelo qual cada um é formado. Um gargalo é estrutural, enquanto o CCR é conjuntural. Para o autor o gargalo se constitui de recursos cuja capacidade instalada é inferior à demanda de mercado, enquanto que os CCRs são restrições causadas em recursos com capacidades globais superiores a demanda, porém com temporariamente restringindo o fluxo por um aspecto conjuntural do sistema. Alguns exemplos de causas de CCRs são “: i) Problemas associados à manutenção; ii) Tempos de setup muito acima dos teóricos e iii) Problemas associados a deficiências de programação” (ANTUNES, 1998, P. 153).

### 3. Metodologia

Será utilizada uma abordagem mista, ou seja, serão analisados tanto dados quantitativos (análise de demanda, capacidade instalada, capacidade utilizada, takt-time, capacidade dos postos de trabalho, tanto na data atual quanto no momento de implementação da metodologia) e também será realizada uma análise qualitativa (entrevistas com gestores e participantes do processo de implementação da visualização de gargalos na fábrica). Ambas as abordagens são necessárias, pois o enfoque qualitativo permite uma preocupação não apenas com a representatividade numérica do grupo pesquisado, mas com o aprofundamento da compreensão de uma organização e de uma trajetória (GOLDENBERG, 2004, p. 14). Já a utilização de uma técnica quantitativa utilizará de atributos lógicos e mensuráveis da experiência humana, tratando de corroborar a ideia do autor (GERHARDT e SILVEIRA, 2009, p. 25).

A natureza de pesquisa é do tipo aplicada, tendo em vista que o seu propósito é gerar conhecimentos de uso prático, propondo a solução de melhorias especificadas no conteúdo da pesquisa. Quanto aos objetivos desta pesquisa, segundo Gil (2008) este tipo de pesquisa é do tipo explicativa já que para os fenômenos que serão apresentados busca-se explicações, procurando-se identificar os fatores que determinam ou que contribuem para ocorrência de um problema de pesquisa. Esta pesquisa possui um caráter experimental, visto que segue um caminho rigoroso, ou seja, todo o processo foi formulado através de hipóteses possíveis, delimitando as variáveis que podem afetar a pesquisa de projeto.

## 4. Resultados e discussões

### 4.1 Análise de cenário

O levantamento do problema foi feito através da visita à unidade fabril em questão. Para isto, foi realizado inicialmente um tour pela fábrica, buscando-se analisar o contexto de produção da fábrica. Após isto, foi realizado um levantamento de dados com o especialista da área de engenharia de produção, responsável pela definição de tempos e balanceamento dos setores, além de conversas com líderes e operadores da fábrica. Nesta primeira etapa, foi possível identificar alguns pontos importantes:

- a) Dentro do setor de usinagem existem 13 máquinas que possuem, acima, um banner identificando-as como “gargalos”;
- b) Ao serem questionados sobre o que significa aquele banner, os operadores não foram claros sobre o real significado do conceito de gargalo e, relataram não entender ao certo o porquê daquelas faixas;
- c) Ao serem questionados, os líderes souberam explicar, em partes, o que é um gargalo, porém em relação à presença das faixas, disseram que foram colocadas para identificar as máquinas que não podem parar, porém mesmo que parem, as mesmas não afetam a saída de peças;
- d) Existe um setor onde foi feita, com o apoio de uma consultoria externa, a implementação de um projeto de readequação de fluxo da linha “A” com a definição de um gargalo.
- e) O especialista da engenharia de produção relatou que após a definição do gargalo desta linha em específico (linha “A”), o conceito de gargalo foi disseminado pela fábrica, porém houve variações de demanda com o passar dos meses e as máquinas antes denominadas gargalos, o deixaram de ser, ou seja, “os gargalos são flutuantes”, relatou.

### 4.2 Avaliação do conceito de gargalo utilizado

A partir dos dados identificados e descritos no item 4.1, a proposta foi identificar se o conceito de gargalo utilizado pela empresa está, primeiramente, entendido e aplicado de forma adequada. Para isto, foi realizada uma avaliação dos dados históricos da linha “A” considerando-se os dados de demanda e capacidade dos meses de maio de 2013 até abril de 2014, conforme tabela 1.

Tabela 1 – Capacidade x Demanda

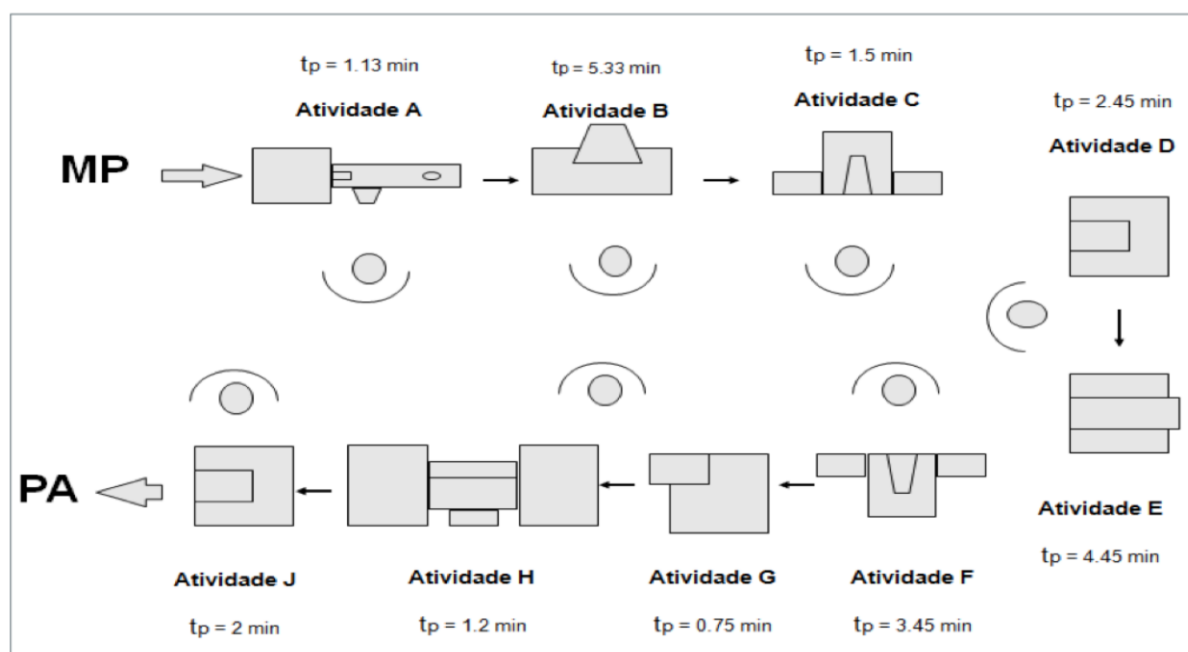
Período	Demanda	Capacidade (3 Turnos)
mai/13	247	270
jun/13	243	270
ago/13	294	270
set/13	239	270
out/13	240	270
nov/13	296	270

dez/13	228	270
jan/14	159	270
fev/14	163	270
mar/14	148	270
abr/14	97	270

Fonte – empresa

Na tabela 1 encontra-se a capacidade produtiva da planta por dia de trabalho e sua capacidade de produção diária (para os três turnos disponíveis). Também foram analisados o layout e o fluxo produtivo, conforme demonstrado na figura 2.

Figura 2 – Layout Empresa



Fonte: Autores

Conforme informações coletadas junto à empresa, no layout demonstrado encontrava-se uma faixa alusiva ao recurso vinculado à atividade B, sendo um sinalizador de que atividade realizada naquele recurso seria de um gargalo de produção. À época da adição desta faixa no arranjo demonstrado, realizado por uma consultoria em maio de 2013, a demanda do mercado por armas de fogo produzidas naquela linha girava em torno de 250 unidades diárias.

O conceito de gargalo deverá levar em consideração a restrição do processo produtivo. A verificação da restrição de produção deverá levar em conta a demanda. Como o tempo de ciclo (*takt-time*) é a razão de disponibilidade pela demanda, podemos observar que não existia um gargalo no processo produtivo da empresa, com exceção do período de agosto de 2013, em que a demanda superou a capacidade diária de produção. Na figura 4 observa-se a relação tempo de ciclo e restrição.

Visto que os dados informados pela empresa aparentemente não representam uma restrição, que não existe um possível gargalo flutuante e que não se observou mudanças no mix de produção desta célula produtiva, pode-se concluir que houve um erro de entendimento do que é um gargalo para empresa. A atividade B, recurso mais lento do processo produtivo em questão deveria ser classificada como um CCR (Recurso com Capacidade Restritiva) e não como um gargalo, já que uma possível paralisação de suas atividades poderá acarretar em um não atendimento a demanda.

A demanda média neste processo foi superior a capacidade somente em um de onze períodos apresentados, demonstrando o erro de ter sido introduzida uma faixa alusiva a um gargalo de produção.

Tabela 2 – Análise sob a ótica da Teoria das Restrições

Período	Demanda	Capacidade (3 Turnos)	Tempo de ciclo	Tempo gargalo
mai/13	247	270	5,83	5,33
jun/13	243	270	5,93	5,33
ago/13	294	270	4,90	5,33
set/13	239	270	6,03	5,33
out/13	240	270	6,00	5,33
nov/13	256	270	5,63	5,33
dez/13	228	270	6,32	5,33
jan/14	159	270	9,06	5,33
fev/14	163	270	8,83	5,33
mar/14	148	270	9,73	5,33
abr/14	97	270	14,85	5,33

Tabela 2 – Análise sob a ótica da Teoria das Restrições

## 5. Conclusão

O estudo das restrições em sistemas de produção tem se mostrado de grande importância para melhorar os outputs destes processos. Apesar disto, falhas na interpretação de conceitos e o uso inadequado de informações visuais podem acarretar em perdas para o processo e não em ganhos.

Na linha de produção estudada, havia uma clara identificação visual para definir qual o recurso gargalo e, conseqüentemente, que aquele deveria ser gerenciado de forma mais intensa, procurando-se evitar não atendimentos às demandas do mercado. Apesar da identificação, foi possível verificar através da pesquisa que o referido gargalo somente apresentou-se como tal em um dos 12 meses analisados. Esta referência inadequada pode, além de mascarar a real restrição da linha de produção, concentrar pontualmente os esforços de todos os envolvidos em gerenciar uma falsa restrição.

Nesse sentido, conclui-se que a empresa aplicou de forma inadequada o conceito de gargalo nesta linha de produção em específico, porém a pesquisa restringe-se apenas a esta linha, sugerindo-se então estudos futuros



para entender se as identificações visuais presentes para identificar outros recursos do sistema como gargalos, também estão identificando de forma inadequada as restrições.

## REFERÊNCIAS

ANTUNES, J. **Em Direção a uma Teoria Geral do Processo na Administração da Produção: Uma Discussão Sobre a Possibilidade de Unificação da Teoria das Restrições e da Teoria que Sustenta a Construção de Sistemas de Produção com Estoque Zero**, Tese de Doutorado, Porto Alegre, UFRGS, 1998.

ATWATER, J; CHAKRAVORTY, S. **A study of the utilization of capacity constrained resources in drum-buffer-rope systems.** *Production and Operations Management*, v. 11, n. 2, p. 259-273, 2002.

BETTERTON, C; COX III, J. **Espoused drum-buffer-rope flow control in serial lines: A comparative study of simulation models.** *International Journal of Production Economics*, v. 117, n. 1, p. 66-79, 2009.

COX, J. F. e SCHLEIER, J. G. **Theory of Constraints Handbook**. Nova Iorque: McGraw Hill, 2010.

COX, Jeff; SPENCER, Michael, S. **Manual da Teoria das Restrições**. Porto Alegre: Bookman, 2002.

DETTMER, W. J. **Constraint Management**. Quality America Inc, 2000.

GERHARDT, T.A. e SILVEIRA, D.T. **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: UFRGS, 2009.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOLDENBERG, M. **A arte de pesquisar: como fazer pesquisa qualitativa em Ciências Sociais**. 8. ed. Rio de Janeiro: Record, 2004.

GOLDRATT, E. M., COX, J. **The Goal: A Process of Ongoing Improvement**. 2 ed. Great Barrington: North River Press, 1992.

GUPTA, M. C., BOYD, L. H. **Theory of Constraints: a theory for operations management**. *International Journal of Operations & Production Management*, v. 28, n. 10, p. 991-1012, 2008.

LAWRENCE, S. R., BUSS, A. H. **Economic Analysis of Production Bottlenecks**. *Mathematical Problems in Engineering*, 1995, p. 341-363.

ROSER, C., NAKANO, M. e TANAKA, M. **Detecting Shifting Bottlenecks**. In: *International Symposium on Scheduling*, 2002, Hamamatsu, p. 59-62.

SCHUH, G., POTENTE, T., FUCHS, S. **Shifting Bottlenecks in Production Control**. In: *4th International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production*, 2011, Montreal, p. 506-511.

WATSON, K. J., BLACKSTONE, J. H. e GARDINER, S. C. **The evolution of a management philosophy: The theory of constraints**. *Journal of Operations Management*, 2007, P. 387-402.

WOEPEL, M. **Solving the Wandering Bottleneck Problem**. Pinnacle Strategies, 2004.