

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**LUCAS MARTINS IKEZIRI**

**SIMULAÇÃO E ANÁLISE DO MÉTODO GERENCIAMENTO DINÂMICO  
DO PULMÃO PARA AJUSTE DE ESTOQUE DE PRODUTOS  
DESTINADOS À ENTREGA IMEDIATA**

**BAURU  
2018**

LUCAS MARTINS IKEZIRI

**SIMULAÇÃO E ANÁLISE DO MÉTODO GERENCIAMENTO DINÂMICO  
DO PULMÃO PARA AJUSTE DE ESTOQUE DE PRODUTOS  
DESTINADOS À ENTREGA IMEDIATA**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

Orientador:

Prof. Dr. Fernando Bernardi de Souza

**BAURU**

**2018**

Ikeziri, Lucas Martins.

Simulação e análise do método Gerenciamento Dinâmico do Pulmão para ajuste de estoque de produtos destinados à entrega imediata / Lucas Martins  
Ikeziri, 2018

143 f. : il.

Orientador: Fernando Bernardi de Souza

Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2018

1. Gerenciamento Dinâmico do Pulmão. 2. Reposição Puxada. 3. Produzir para Disponibilidade. 4. Tambor-Pulmão-Corda Simplificado. 5. Cadeia de Suprimentos  
I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. II. Título.

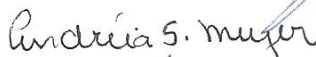
**ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE Mestrado DE LUCAS MARTINS IKEZIRI, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, DA FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE BAURU.**

Aos 28 dias do mês de junho do ano de 2018, às 13:00 horas, no(a) Anfiteatro da Seção Técnica de Pós-graduação da FEB, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. FERNANDO BERNARDI DE SOUZA - Orientador(a) do(a) Departamento de Engenharia de Produção / Faculdade de Engenharia de Bauru, Profa. Dra. ANDREIA DA SILVA MEYER do(a) Departamento de Engenharia de Produção / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, Prof. Dr. GILBERTO MILLER DEVOS GANGA do(a) Departamento de Engenharia de Produção / UFSCAR - São Carlos/SP, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE Mestrado de LUCAS MARTINS IKEZIRI, intitulada **SIMULAÇÃO E ANÁLISE DO MÉTODO GERENCIAMENTO DINÂMICO DO PULMÃO PARA AJUSTE DE ESTOQUE DE PRODUTOS DESTINADOS À ENTREGA IMEDIATA**. Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADO. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Prof. Dr. FERNANDO BERNARDI DE SOUZA



Profa. Dra. ANDREIA DA SILVA MEYER



Prof. Dr. GILBERTO MILLER DEVOS GANGA



## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador, Prof. Dr. Fernando Bernardi de Souza, pelos inúmeros ensinamentos, pelo total apoio oferecido para questões acadêmicas, pessoais e profissionais, pela amizade desenvolvida ao longo desses anos sob a sua orientação e, acima de tudo, pela confiança dedicada ao meu desenvolvimento e aos nossos projetos.

À minha noiva, Giovana, que desde o início do curso de Mestrado me apoiou e que sempre esteve ao meu lado me motivando e despertando o melhor de mim para que eu superasse qualquer barreira que aparecesse durante o caminho.

Aos meus pais, Mario e Marília, por acreditarem que esse sonho viria a tornar-se realidade e por serem os grandes responsáveis pela pessoa que sou hoje, em virtude da educação fornecida com muito amor, dedicação e carinho.

À Profa. Dra. Andréia da Silva Meyer pela atenção despendida e pelo apoio durante a etapa final da pesquisa.

Aos professores que fizeram parte das Comissões Examinadoras para o Exame Geral de Qualificação e Defesa de Dissertação pelas contribuições realizadas, que elevaram a qualidade desta dissertação.

Aos professores do DEP que contribuíram para a minha formação e para a realização desta pesquisa.

*“Quer você acredite que consiga fazer uma coisa ou não, você está certo”.*

(Henry Ford)

## RESUMO

O gerenciamento de estoques em cadeias de suprimentos vem enfrentando diversos problemas, como baixa rotatividade, altos investimentos em estoque, vendas perdidas por rupturas e alto índice de obsolescência dos produtos estocados. Assim, esta pesquisa tem o objetivo de avaliar a efetividade da técnica Gerenciamento Dinâmico do Pulmão (Dynamic Buffer Management - DBM) como forma de preservar a disponibilidade de produtos destinados à entrega imediata em ambientes que adotem a solução de distribuição e reposição puxada da Teoria das Restrições. Para tanto, foram realizadas simulações no software ProModel utilizando dados estocásticos para o tempo de reposição e cenários com diferentes combinações de demanda. Esta, por sua vez, pode se comportar de duas formas: i) média sem tendência com dois níveis de coeficiente de variação e ii) média com tendência sazonal com dois níveis de intensidade. Dois algoritmos do DBM foram modelados segundo seus princípios constatados na literatura e combinados com parâmetros para ajuste dinâmico do estoque alvo. Os modelos foram avaliados por meio dos seguintes indicadores: fill rate, estoque médio no sistema e rotatividade por atendimento imediato da demanda. Os resultados indicam que para a demanda média sem tendência, desativar o DBM e manter um nível sensato de estoque alvo no sistema inibe ajustes indevidos e garante um bom desempenho do modelo. Contudo, para a demanda média com tendência sazonal, o DBM é altamente recomendado para assegurar a performance do sistema e ajustar os níveis de estoque conforme o padrão da demanda se altera.

**Palavras-chave:** Gerenciamento Dinâmico do Pulmão. Reposição Puxada. Produzir para Disponibilidade. Tambor-Pulmão-Corda Simplificado. Cadeia de Suprimentos.

## ABSTRACT

Inventory management in supply chains has faced several problems, such as low turnover, high inventory investments, lost sales due to disruptions, and high obsolescence of stored products. Thus, this research aims to evaluate the effectiveness of the Dynamic Buffer Management (DBM) technique as a way of preserving the availability of products destined for immediate delivery in environments that adopt the distribution solution and pull replenishment of the Theory of Constraints (TOC). For that, simulations were performed in the ProModel software using stochastic data for the replenishment time and scenarios with different combinations of demand. This, in turn, can behave in two ways: i) average without trend with two levels of coefficient of variation and ii) average with seasonal trend with two levels of intensity. Two DBM algorithms were modeled according to their principles found in the literature and combined with parameters for dynamic adjustment of the target level. The models were evaluated through the following indicators: fill rate, average inventory in the system and turnover for immediate demand response. The results indicate that for the average demand without trend, disabling DBM and maintaining a sensible level of target level in the system inhibits undue adjustments and ensures good model performance. However, for average demand with seasonal trend, DBM is highly recommended to ensure system performance and adjust inventory levels as the demand pattern changes.

**Keywords:** Dynamic Buffer Management. Pull Replenishment. Make to Availability. Simplified Drum-Buffer-Rope. Supply Chain.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Quantidade de artigos sobre a TOC e na área de Cadeia de Suprimentos por ano de publicação .....	20
Figura 2 – Conflito em ambientes MTS .....	32
Figura 3 – Agregação dos estoques no ponto onde ocorre a divergência .....	38
Figura 4 – Efeito da agregação sobre as distribuições da demanda em níveis distintos de uma cadeia de suprimentos .....	39
Figura 5 – Gráfico dente de serra típico de modelos tradicionais de gestão de estoques .....	41
Figura 6 – Regiões e graduação dos status do pulmão de estoque .....	43
Figura 7 – Aplicação do conceito de PPV .....	44
Figura 8 – Conceito de PPV aplicado na priorização de ordens de serviço .....	45
Figura 9 – Cálculo das invasões na região vermelha .....	50
Figura 10 – Funcionamento do DBM para TMR e TMG .....	51
Figura 11 – Importância do período de congelamento após um TMG .....	52
Figura 12 – Modelo conceitual análogo a uma caixa d'água .....	59
Figura 13 – Fluxograma do DBM para permanência nas regiões para TMG e TMR .....	61
Figura 14 – Fluxograma do DBM para permanência na região para TMG e contagem de invasões para TMR .....	62
Figura 15 – Gráficos das demandas geradas para a demanda média sem tendência com dois níveis de CV .....	66
Figura 16 – Gráficos das demandas geradas para a demanda média com tendência sazonal com dois níveis de intensidade .....	67
Figura 17 – Gráfico da variação do tempo de reposição para cada ordem solicitada diariamente .....	68
Figura 18 – Comparação entre distribuições para 50 e 100 replicações dos experimentos .....	69
Figura 19 – Gráfico dos resultados para o cenário A .....	74
Figura 20 – Gráfico dos resultados para o cenário B .....	76
Figura 21 – Gráfico dos resultados para o cenário C .....	78
Figura 22 – Gráfico dos resultados para o cenário D .....	80
Figura 23 – Comparações entre tratamentos que se diferem em um fator .....	82

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Definições das diferentes naturezas das restrições.....	29
Quadro 2 – Síntese dos algoritmos e parâmetros de ajuste do TL do DBM .....	53

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Revisão sistemática realizada nas bases de dados Scopus e Web of Science .....	18
Tabela 2 – Síntese dos tratamentos da simulação .....	71
Tabela 3 – Síntese dos cenários da simulação .....	71
Tabela 4 – Resultados dos experimentos para o cenário A .....	73
Tabela 5 – Resultados dos experimentos para o cenário B .....	75
Tabela 6 – Resultados dos experimentos para o cenário C .....	77
Tabela 7 – Resultados dos experimentos para o cenário D .....	79
Tabela 8 – Análise entre grupos de tratamentos que se diferenciam em apenas um fator para o cenário A .....	83
Tabela 9 – Análise entre grupos de tratamentos que se diferenciam em apenas um fator para o cenário B .....	84
Tabela 10 – Análise entre grupos de tratamentos que se diferenciam em apenas um fator para o cenário C .....	85
Tabela 11 – Análise entre grupos de tratamentos que se diferenciam em apenas um fator para o cenário D .....	87

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APICS – *American Production and Inventory Control Society*

BM – *Buffer Management*

BS – *Buffer Status*

CV – *Coeficiente de Variação*

DBM – *Dynamic Buffer Management*

DBR – *Drum-Buffer-Rope*

EMS – *Estoque Médio no Sistema*

FGI – *Finished Goods Inventory*

FR – *Fill Rate*

MTA – *Make to Availability*

MTO – *Make to Order*

MTS – *Make to Stock*

OPT – *Optimized Production Technology*

PPV – *Penetração de Pulmão Virtual*

RAID – *Rotatividade por Atendimento Imediato da Demanda*

RRC – *Recurso com Restrição de Capacidade*

S-DBR – *Simplified Drum-Buffer-Rope*

TL – *Target Level*

TMG – *Too Much Green*

TMR – *Too Much Red*

TP – *Tempo do Pedido*

TR – *Tempo de Reposição*

TS – *Tempo de Suprimento*

TOC – *Theory of Constraints*

TOCICO – *Theory of Constraints International Certification Organization*

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>13</b>
1.1	JUSTIFICATIVA E CONTRIBUIÇÕES DA PESQUISA	16
1.2	FORMULAÇÃO DO PROBLEMA E OBJETIVOS DE PESQUISA	22
1.3	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	23
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO CONCEITUAL</b>	<b>24</b>
2.1	TEORIA DAS RESTRIÇÕES	24
2.2	NATUREZAS DAS RESTRIÇÕES	28
2.3	SIMPLIFIED DRUM-BUFFER-ROPE EM AMBIENTES MAKE TO AVAILABILITY	30
2.4	TOC APLICADA EM CADEIAS DE SUPRIMENTOS: A SOLUÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO E REPOSIÇÃO PUXADA	35
2.5	GERENCIAMENTO DINÂMICO DO PULMÃO	46
2.5.1	Gerenciamento Dinâmico do Pulmão e as mudanças no comportamento da demanda	52
<b>3</b>	<b>MÉTODO DE PESQUISA</b>	<b>55</b>
3.1	SELEÇÃO DO SOFTWARE DE SIMULAÇÃO	55
3.2	SELEÇÃO DAS MEDIDAS DE DESEMPENHO	56
3.3	DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE SIMULAÇÃO	58
3.3.1	Formulação e planejamento do modelo	58
3.3.2	Desenvolvimento do modelo computacional	63
3.3.3	Verificação do modelo	63
3.3.4	Planejamento da simulação e execução dos experimentos	65
3.3.5	Tratamento dos dados gerados pelo ProModel e análise dos resultados	72
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>73</b>
4.1	RESULTADOS E TRATAMENTOS RELEVANTES DO CENÁRIO A	73
4.2	RESULTADOS E TRATAMENTOS RELEVANTES DO CENÁRIO B	75
4.3	RESULTADOS E TRATAMENTOS RELEVANTES DO CENÁRIO C	77
4.4	RESULTADOS E TRATAMENTOS RELEVANTES DO CENÁRIO D	79
4.5	ANÁLISES DOS TRATAMENTOS QUE SE DIFEREM EM APENAS UM FATOR	81
4.5.1	Tratamentos que se diferem no gatilho para TMG	88
4.5.2	Tratamentos que se diferem no parâmetro de ajuste para TMG	89

4.5.3	Tratamentos que se diferem no gatilho para TMR.....	90
4.5.4	Tratamentos que se diferem no parâmetro de ajuste para TMR .....	91
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>92</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>95</b>
	<b>APÊNDICE A – Código do modelo computacional para o tratamento A-1 .....</b>	<b>104</b>
	<b>APÊNDICE B – Resultados das 100 replicações para o tratamento A-1 .....</b>	<b>113</b>
	<b>APÊNDICE C – Testes post hoc de Games-Howell para os cenários A e B.....</b>	<b>116</b>
	<b>APÊNDICE D – Testes post hoc de Games-Howell para os cenários C e D.....</b>	<b>124</b>
	<b>APÊNDICE E – Boxplots para o indicador FR no cenário A.....</b>	<b>132</b>
	<b>APÊNDICE F – Boxplots para o indicador EMS no cenário A .....</b>	<b>133</b>
	<b>APÊNDICE G – Boxplots para o indicador RAID no cenário A.....</b>	<b>134</b>
	<b>APÊNDICE H – Boxplots para o indicador FR no cenário B.....</b>	<b>135</b>
	<b>APÊNDICE I – Boxplots para o indicador EMS no cenário B .....</b>	<b>136</b>
	<b>APÊNDICE J – Boxplots para o indicador RAID no cenário B .....</b>	<b>137</b>
	<b>APÊNDICE K – Boxplots para o indicador FR no cenário C.....</b>	<b>138</b>
	<b>APÊNDICE L – Boxplots para o indicador EMS no cenário C .....</b>	<b>139</b>
	<b>APÊNDICE M – Boxplots para o indicador RAID no cenário C .....</b>	<b>140</b>
	<b>APÊNDICE N – Boxplots para o indicador FR no cenário D.....</b>	<b>141</b>
	<b>APÊNDICE O – Boxplots para o indicador EMS no cenário D.....</b>	<b>142</b>
	<b>APÊNDICE P – Boxplots para o indicador RAID no cenário D.....</b>	<b>143</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Embora diversas definições para o termo Gestão da Cadeia de Suprimentos estejam disponíveis na literatura, muitas delas direcionam os esforços para a busca por altos níveis de eficiência no fluxo de materiais e informações entre os elos pertencentes a uma cadeia e, conseqüentemente, o consumidor final, que é o elemento fundamental dentro desse processo, acaba ficando em segundo plano (CANEVER; TRIJP; BEERS, 2008).

Assim, apesar das mudanças de mercado acontecerem com frequências cada vez maiores, devido às atualizações tecnológicas, variações dos padrões de consumo e abundância de competidores, além da busca incessante pelo menor custo possível, as cadeias de suprimentos também devem viabilizar as ações necessárias para satisfazer seus clientes, garantindo um alto nível de serviço (ZEMZAM et al., 2017; SOUZA; PIRES, 2010).

Quando os consumidores que estão situados no final de uma cadeia de suprimentos não recebem a devida atenção para seus comportamentos em relação à demanda, diversos efeitos indesejáveis começam a surgir, ocasionando prejuízos irreversíveis e comprometendo as atividades e a saúde financeira das empresas que a integram (WAN; EVERS, 2011).

A Teoria das Restrições (*Theory of Constraints* – TOC) utiliza a terminologia efeitos indesejáveis, que de acordo com Cox III et al. (2012), editores do Dicionário TOCICO (*Theory of Constraints International Certification Organization*), são os aspectos negativos da realidade atual definidos em relação à meta de uma organização, de um sistema ou de suas condições necessárias. Além disso, são sintomas visíveis de uma causa raiz subjacente, um problema ou um conflito central.

Dessa forma, alguns efeitos indesejáveis identificados em ambientes de cadeias de suprimentos são: baixa rotatividade de estoques, alto investimento em produtos, perda de vendas por ruptura de estoques em um determinado local, enquanto há excessos dos mesmos itens demandados em outros locais, alto índice de obsolescência e falta de resposta às necessidades dos clientes. Tais fenômenos derivam do comportamento empurrado comumente presente em cadeias de suprimentos tradicionais (ZEMZAM et al., 2017; PONTE et al., 2016; SCHRAGENHEIM, A., 2013; GOLDRATT; ESHKOLI; BROWNLEER, 2011).

Um dos princípios que alicerçam a TOC, a simplicidade inerente, pressupõe que por mais complexo que um sistema possa parecer, as causas de um baixo desempenho e os possíveis pontos de alavancagem resumem-se a poucos ou mesmo a um único elemento denominado de causa raiz (TECHT, 2014; GOLDRATT, 2013a, 2005; KENDALL, 2013; HANWU; YAN, 2010; SOUZA; PIRES, 2010; SCHRAGENHEIM; DETTMER; PATTERSON, 2009; GOLDRATT, 1990).

A inferência da simplicidade inerente é que tanto uma organização como as redes de empresas sobrevivem como um sistema completo e não como uma coleção de partes isoladas e independentes. Portanto, o comportamento empurrado das cadeias de suprimentos induz a subotimização dessas partes na esperança de que o alcance dos ótimos locais resulte no desempenho máximo global dos sistemas. Em contrapartida, se o desempenho das organizações pode ser melhorado e suas relações podem ser consideradas análogas a de uma corrente, isso implica que uma cadeia de suprimentos é tão forte quanto o seu elo mais fraco e a exploração desse ponto de alavancagem, intitulado como restrição, proverá o ganho esperado de desempenho ao sistema como um todo (PONTE et al., 2016; TECHT, 2014; BARNARD, 2013; KENDALL, 2013; HANWU; YAN, 2010; SOUZA; PIRES, 2010; SCHRAGENHEIM; DETTMER, 2001; GOLDRATT, 1990).

Tradicionalmente, as redes de distribuição que possuem comportamento empurrado operam sob orientações das previsões de vendas, consideradas indispensáveis por predizer a quantidade de itens que serão vendidos no futuro em um local específico e dentro de um período planejado (SCHRAGENHEIM, A., 2013, 2007; SOUZA; PIRES, 2010; YUAN; CHANG; LI, 2003). No entanto, a falta de acuracidade das previsões de longo prazo e, em adição, a presença de oscilações naturais (ruídos) dos sistemas levam a comportamentos de revisões constantes das previsões realizadas. Como efeitos indesejáveis da ênfase sobre as previsões e das tentativas comuns de realizar novas otimizações sob a influência de ruídos, novamente encontram-se estoques excedentes de alguns itens e falta de outros (SCHRAGENHEIM, A., 2013, 2007; SCHRAGENHEIM, E., 2013b; SOUZA; PIRES, 2010; SCHRAGENHEIM; DETTMER; PATTERSON, 2009; GOLDRATT; GOLDRATT, 2003).

A TOC é uma filosofia de gerenciamento global e seus fundamentos foram concebidos pelo físico israelense Dr. Eliyahu Moshe Goldratt, no final da década de 1970, por meio da aplicação dos conceitos das ciências experimentais na resolução



de problemas organizacionais (PUCHE et al., 2016; COX III; SCHLEIER, 2013; WU et al., 2010a, 2010b; GOLDRATT, 1991). Suas primeiras contribuições foram destinadas à área de Planejamento e Controle da Produção mediante os métodos Tambor-Pulmão-Corda (*Drum-Buffer-Rope* – DBR) e Gerenciamento do Pulmão (*Buffer Management* – BM), com o posterior desenvolvimento do Tambor-Pulmão-Corda Simplificado (*Simplified Drum-Buffer-Rope* – S-DBR). Todos seus métodos visam melhorar o fluxo de produção e reduzir os prazos de entrega ao ponto das empresas deixarem de produzir para estoque (*Make to Stock* – MTS) e passarem a atender apenas ordens firmes de seus clientes (*Make to Order* – MTO) (GOLMOHAMMADI, 2015; SOUZA; PIRES, 2014; LEE et al., 2010; SCHRAGENHEIM; DETTMER; PATTERSON, 2009).

Apesar de a estratégia MTO ser, em geral, a forma de produção mais atrativa em virtude da grande variedade de produtos ofertados, das pressões por reduções de níveis de estoques e custos, e da necessidade de lançamento de novos modelos ao mercado com maior frequência, quando o tempo de produção das ordens é superior ao tempo no qual os clientes estão dispostos a esperar, ou quando os cenários envolvem ambientes de distribuição e redes de varejistas, seguir a estratégia MTS acaba sendo inevitável para proteger as vendas e assegurar a disponibilidade de produtos destinados à entrega imediata (SOUZA; PIRES, 2014, 2010; SCHRAGENHEIM; DETTMER; PATTERSON, 2009; SCHRAGENHEIM; BURKHARD, 2007; GOLDRATT; GOLDRATT, 2003; SCHRAGENHEIM, 2002).

De acordo com o dicionário APICS (*American Production and Inventory Control Society*), a gestão de estoques é definida como o ramo da gestão de negócios que se relaciona diretamente com as atividades de planejamento e controle dos estoques (BLACKSTONE, 2013a). No entanto, as organizações se veem diante de um problema comum com relação a essas atividades e tentam encontrar soluções por meio da adoção de políticas e modelos de gestão de estoques. Por exemplo, para auxiliar na definição de quando e como as ordens de reposição devem ser emitidas e quais níveis de estoque devem ser mantidos no sistema para assegurar o atendimento da demanda (JURADO et al., 2016).

O método S-DBR, quando aplicado em ambientes MTS, é denominado de *Make to Availability* (MTA) e refere-se ao modo como a TOC vem lidando, há aproximadamente uma década, com o planejamento e programação da produção para estoque, enquanto a técnica BM oferece suporte, abrangendo questões relacionadas

à gestão e controle dos estoques (SOUZA; PIRES, 2014, 2010; SCHRAGENHEIM, E., 2013b; SCHRAGENHEIM; DETTMER; PATTERSON, 2009).

Sob a perspectiva de cadeias de suprimentos, a TOC oferece uma solução de distribuição com base na agregação do estoque no nível mais alto da cadeia (por exemplo, armazém da fábrica ou armazém central) e em reposições de estoque puxadas a partir do consumo real (GUPTA; ANDERSEN, 2018; CHANG; CHANG; CHANG, 2017; PONTE et al., 2016; CHANG; CHANG; SUN, 2015; WU et al., 2013; SOUZA; PIRES, 2010). Sendo assim, o BM também é responsável por garantir a efetividade desse método, pois ele visa não somente identificar as prioridades para o reabastecimento dos estoques, mas também fornecer sinais que apontem a necessidade de ajustar os seus níveis-alvo (SOUZA; PIRES, 2014; SCHRAGENHEIM, E., 2013b; SCHRAGENHEIM; DETTMER; PATTERSON, 2009).

Em publicações relacionadas à TOC que visam ambientes de produção MTA, distribuição ou varejo, o BM recebe um aditivo em sua nomenclatura e é conhecido por Gerenciamento Dinâmico do Pulmão (*Dynamic Buffer Management – DBM*). O DBM é assim chamado, pois traz em seus procedimentos, algoritmos que recomendam alterações nos níveis de estoque alvo em função de determinados padrões de comportamentos do estoque de produtos acabados (*Finished Goods Inventory – FGI*) (CHANG; CHANG; CHANG, 2017; SOUZA; PIRES, 2014, 2010; SCHRAGENHEIM, A., 2013; SCHRAGENHEIM, E., 2013b; COX III et al., 2012).

## 1.1 JUSTIFICATIVA E CONTRIBUIÇÕES DA PESQUISA

Uma revisão sistemática foi realizada nas bases de dados Scopus e *Web of Science* compreendendo o período de 1984 (ano da primeira publicação identificada) e meados de 2017 com o propósito de mapear o campo de pesquisa da TOC, classificando os documentos do tipo *Article*, *Review* e *Article in Press* identificados em seis áreas já consolidadas baseadas em livros escritos por Goldratt: Produção, Processo de Melhoria Contínua, Gestão de Projetos, Contabilidade de Ganhos, Processos de Raciocínio e Cadeias de Suprimentos.

Nos livros “A Meta” e “A Corrida”, Goldratt introduz a TOC e sua aplicação na área de Produção, ao mesmo tempo em que apresenta os Cinco Passos de Focalização, ferramenta utilizada no Processo de Melhoria Contínua (GOLDRATT; COX, 2014; GOLDRATT; FOX, 1992). A aplicação em Projetos foi descrita no livro

“Corrente Crítica” e a área de Contabilidade de Ganhos foi marcada pela publicação do livro “A Síndrome do Palheiro” (GOLDRATT, 1998, 1991). Os Processos de Raciocínio foram apresentados no livro “Não é Sorte” e a aplicação da TOC em Cadeias de Suprimentos foi abordada em diversas publicações, especialmente em “Não é Sorte”, “Necessária, Sim, mas Não Suficiente” e, com foco no varejo, em “Não é Óbvio?” (GOLDRATT; ESHKOLI; BROWNLEER, 2011; GOLDRATT; SCHRAGENHEIM; PTAK, 2007; GOLDRATT, 2004).

Para cada área, foram definidas palavras-chave que direcionaram os resultados das buscas por títulos, resumos e palavras-chave. Palavras-chave que tivessem correspondência com outros assuntos além da TOC foram destacadas no código de pesquisa para virem acompanhadas sempre (operador *And*) das palavras “*Theory of Constrain\**” (termo utilizado devido à identificação de pesquisas que utilizaram como palavras-chave *Theory of Constrain*, *Theory of Constraint* e *Theory of Constraints*) ou (operador *Or*) “Goldratt”, com o propósito de filtrar os resultados obtidos.

Uma área adicional designada com o nome Área não Identificada foi criada para identificar artigos que estivessem relacionados ao corpo de conhecimento da TOC, mas que não foram encontrados pelas palavras-chave específicas de cada área. Para essa área adicional, os termos de busca utilizados foram “*Theory of Constrain\**” e “Goldratt” e também foram excluídos todos os resultados obtidos anteriormente pelos códigos de pesquisa focalizados. A palavra-chave “Dirac” foi ignorada na busca para a Área não Identificada (operador *And Not*), pois se trata de um autor que remete a pesquisas relacionadas ao termo *Theory of Constraints* no campo de estudo da física e não tem relação com o tema desta dissertação.

A Tabela 1 mostra as palavras-chave utilizadas para cada área, os resultados iniciais da pesquisa e os resultados refinados por base de dados após a análise de títulos, resumos, palavras-chave e eventuais leituras integrais de artigos, caso as ligações com a TOC não estivessem claras nas análises de títulos, resumos e palavras-chave. A última coluna da tabela mostra a união dos resultados refinados entre as duas bases de dados.

De acordo com a Tabela 1, as amostras iniciais colhidas das pesquisas nas bases Scopus e *Web of Science* foram 1396 e 699 artigos, respectivamente. Após o refinamento das amostras de cada base por área, elas foram finalizadas com 961 diferentes artigos para o Scopus e 432 para a *Web of Science*. Vale dizer que alguns

artigos podem aparecer em mais de uma área de conhecimento. A união das duas amostras refinadas resultou na amostra final de 1009 artigos, sendo que 384 correspondem à intersecção entre as bases de dados, 577 são exclusivos da amostra do Scopus e 48 exclusivos da amostra da *Web of Science*.

Tabela 1 – Revisão sistemática realizada nas bases de dados Scopus e Web of Science

Área	Palavras-chave	Amostra Inicial Scopus	Amostra Scopus Refinada	Amostra Inicial Web of Science	Amostra Web of Science Refinada	União das Bases de Dados Refinadas
Produção	"Drum Buffer Rope" "Optimized Production Technology" "DBR" "OPT"	222	201	108	101	212
Processo de Melhoria Contínua	"Process of Ongoing Improvement" "Five Focusing Steps" "Continuous Improvement"	59	59	25	25	59
Gestão de Projetos	"Critical Chain" "CCPM"	379	168	191	58	182
Contabilidade de Ganhos	"Throughput Accounting" "MIX"	107	104	69	66	106
Processos de Raciocínio	"Evaporating Cloud" "Conflict Resolution Diagram" "Current Reality Tree" "Future Reality Tree" "Transition Tree" "Prerequisite Tree" "Thinking Process"	130	64	57	24	69
Cadeias de Suprimentos	"Pull Replenishment" "Dynamic Buffer Management" "Make to Availability" "Supply Chain"	70	70	43	43	75
Área não identificada	"Theory of Constrain*" "Goldratt" E NÃO "Dirac"	477	343	239	148	355
		Amostra Inicial Scopus	1396	Amostra Inicial Web of Science	699	
		Amostra Refinada Scopus	961	Amostra Refinada Web of Science	432	
				Amostra Final	1009	

Fonte: Autor (2018)

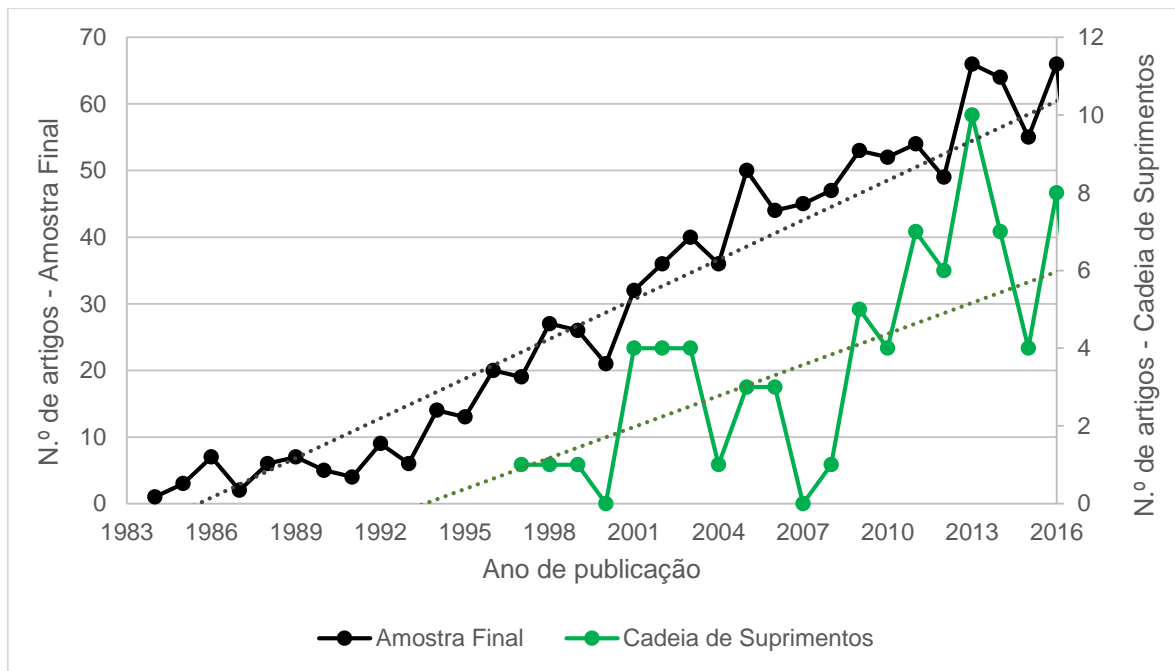
Apesar da revisão sistemática ter identificado 1009 artigos do tipo *Article*, *Review* e *Article in Press*, pode-se visualizar por meio da Tabela 1, que há uma carência de estudos que enfatizam a aplicação da TOC na área de Cadeias de Suprimentos, representando apenas 7,4% da amostra final. Além disso, dos 75 artigos que de alguma forma relacionam-se com essa área, apenas 11 possuem o termo “*Distribution*” aparecendo no título, resumo ou palavras-chave. Desses, o método de reposição puxada proposto pela TOC foi explicado e detalhado em apenas 6 trabalhos (ROSSI FILHO et al., 2016, 2013; ABDELSALAM; MAGDY; ALSHAAR, 2013; BASHIRI; TABRIZI, 2010; SOUZA; PIRES, 2010; WATSON; POLITO, 2003). Em 3 artigos, o termo “*Retail*” foi encontrado de acordo com esses mesmos critérios de busca, dos quais dois fazem parte dos seis artigos mencionados acima (SUN; LENG, 2013; BASHIRI; TABRIZI, 2010; WATSON; POLITO, 2003). Tais temas, aplicações da TOC na distribuição e no varejo, têm recebido, portanto, pouca atenção acadêmica.

A Figura 1 mostra os gráficos da quantidade de artigos referente à amostra final plotada na ordenada principal e da quantidade de artigos da área de Cadeias de Suprimentos plotada na ordenada secundária por ano de publicação. Desde a primeira publicação identificada em 1984, é nítida a tendência de crescimento da TOC no universo acadêmico. Goldratt (2004), em 1994, introduziu os conceitos da TOC em cadeias de suprimentos, mas a primeira publicação detectada pela revisão sistemática ocorreu apenas em 1997. Desde então, a área passou a receber atenção e a partir de 2009, percebe-se uma tendência de aumento no número de publicações. Tal aumento pode estar relacionado aos livros “*Supply Chain Management at Warp Speed*” de Schragenheim, Dettmer e Patterson (2009) e “*Não é Óbvio?*” de Goldratt (2011), ambos com suas primeiras edições publicadas em 2009.

A revisão sistemática também permitiu identificar as fontes cujas pesquisas sobre TOC com ênfase em cadeias de suprimentos foram publicadas. Recebem destaque os periódicos *International Journal of Production Research*, *Expert Systems With Applications*, *Production Planning and Control*, *Journal of Testing and Evaluation*, *Computers and Industrial Engineering*, *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management* e *International Journal of Services and Operations Management*. Isso indica a importância do tema às áreas como Engenharia de Produção, Gestão da Cadeia de Suprimentos, Logística, Administração e, de certa forma, com as ciências relacionadas à computação e sistemas, pois a essência da solução de distribuição e reposição puxada da TOC está no uso dos algoritmos para apoiar o planejamento e

controle dos estoques entre os elos das cadeias de suprimentos com base nas demandas dos consumidores finais (CHANG; CHANG; CHANG, 2017; PONTE et al., 2016; ROSSI FILHO et al., 2016, 2013; CHANG; CHANG; SUN, 2015; WU et al., 2013; SOUZA; PIRES, 2010).

Figura 1 – Quantidade de artigos sobre a TOC e na área de Cadeia de Suprimentos por ano de publicação



Fonte: Autor (2018)

Pérez (1997) teve o seu artigo identificado como o primeiro publicado pela revisão sistemática, e nele o autor explica como as políticas operacionais e bem sucedidas de gerenciamento das fábricas da TOC poderiam ser expandidas para os diferentes elos de uma cadeia de suprimentos. Rahman (2002) descreveu o uso dos Processos de Raciocínio da TOC durante a identificação dos fatores críticos de sucesso na gestão da cadeia de suprimentos e as relações causais entre esses fatores. Walker (2002) apresentou uma aplicação prática da técnica DBR para a sincronização de dois níveis de uma cadeia de suprimentos, que resultou em uma melhora significativa no desempenho de entrega para um médio investimento em capacidade, estoque e gestão de informações. Simatupang, Wright e Sridharan (2004) expuseram como a TOC pode contribuir para a superação das dificuldades com a colaboração em cadeias de suprimentos e propuseram uma política de reposição e métricas de desempenho colaborativas. Lowalekar e Ravi (2017) apresentaram uma

aplicação dos Processos de Raciocínio da TOC para lidar com os efeitos indesejáveis comumente presentes em cadeias de suprimentos em um ambiente de banco de sangue. Mateen e More (2013) examinaram os desafios das finanças em cadeias de suprimentos por meio de cinco ferramentas dos Processos de Raciocínio.

Assim, ainda que o número de pesquisas publicadas sobre TOC na área de Cadeias de Suprimentos tenha aumentado nos últimos anos, os artigos, em sua maioria, abordam o tema de modo conceitual e são poucos aqueles que exploram a sua aplicação na gestão de estoques em cadeias de suprimentos por meio da solução de distribuição e reposição puxada proposta inicialmente por Goldratt (2004) e posteriormente beneficiada em Goldratt (2011) e Schragenheim, Dettmer e Patterson (2009).

Antes do desenvolvimento propriamente dito da solução de distribuição e reposição puxada da TOC, Yuan, Chang e Li (2003) propuseram um procedimento genérico para o dimensionamento e ajuste do tamanho dos pulmões em ambientes que utilizavam os conceitos de distribuição baseados na TOC.

Chang, Chang e Huang (2014) identificaram que o DBM pode causar rupturas em ambientes cuja demanda possui comportamento irregular e propuseram a integração da previsão de mercado ao método de reposição puxada. Com isso, o novo método mostrou-se capaz de evitar rupturas e ainda manter um nível mais baixo de estoque. Entretanto, os autores utilizaram apenas um parâmetro do DBM tradicional em seus experimentos. A mesma abordagem foi feita em uma indústria de fabricação de componentes para semicondutores por Chang, Chang e Sun (2015).

Wang et al. (2015) implementaram um algoritmo para dimensionar o tamanho dos pulmões e definir a quantidade do pedido de reposição para o gerenciamento de estoque em ambientes hospitalares. Os autores simularam o modelo proposto e compararam seu desempenho com o método do ponto de reposição e o DBM convencional. No entanto, não está explícito no artigo qual o parâmetro utilizado para o algoritmo do DBM convencional. De qualquer forma, em síntese, somente dois artigos – Chang, Chang e Sun (2015) e Chang, Chang e Huang (2014) – identificados nas bases de dados Scopus e *Web of Science* simularam o método DBM, ainda que com apenas um parâmetro de período de análise de *status* do pulmão e ajuste de seu nível alvo.

Mesmo que a TOC tenha seus primórdios no final da década de 1970 (GOLDRATT, 1988; JACOBS, 1984) e suas aplicações tenham se expandido dos

ambientes de fabricação para diversas outras áreas do conhecimento (SHEN et al., 2018; COX III; SCHLEIER, 2013; BLACKSTONE, 2001), os conceitos de gestão de estoques e a solução de distribuição e reposição puxada foram pouco abordados na literatura acadêmica. Portanto, é evidente a importância de uma pesquisa que aborde esse tema, pois existe uma lacuna na verificação do quão efetivo é o método DBM e seus principais parâmetros para gerenciar os estoques e preservar a disponibilidade de produtos destinados à entrega imediata.

Logo, as principais contribuições desta pesquisa podem ser divididas em duas partes. A primeira contribuição se encontra na compreensão do funcionamento do método DBM juntamente com seus algoritmos e parâmetros disponíveis na literatura para apoiar nas decisões de gestão de estoques em cadeias de suprimentos. Além das implicações teóricas, tal pesquisa também visa demonstrar aspectos práticos, fornecendo referências para gestores e praticantes nas atividades de dimensionamento e gestão de estoques em cadeias de suprimentos e mostrando as combinações de algoritmos e parâmetros do DBM mais recomendados em cenários com diferentes combinações para a demanda.

## 1.2 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA E OBJETIVOS DE PESQUISA

Em virtude das contribuições apresentadas, esta pesquisa tem caráter original e inédito para a academia, primeiramente, por permitir a ampliação do conhecimento existente sobre a TOC em geral e especificamente para o método DBM, e em adição, por identificar os algoritmos e parâmetros utilizados para o DBM por praticantes da TOC e testá-los de modo combinado em um ambiente de simulação sob diferentes comportamentos da demanda.

Sendo assim, esta pesquisa é motivada pela busca de resposta à seguinte questão: “Quão efetiva é a técnica DBM, medida em termos de nível de serviço e de estoques no sistema, para proteger a disponibilidade de produtos destinados à entrega imediata em ambientes que adotem a solução de distribuição e reposição puxada da TOC?”

Alinhado ao problema de pesquisa formulado, o objetivo geral desta dissertação constitui-se em avaliar a efetividade da técnica DBM como forma de preservar a disponibilidade de produtos destinados à entrega imediata em ambientes que adotem a solução de distribuição e reposição puxada da TOC.



O alcance do objetivo geral está submetido aos seguintes objetivos específicos:

1. Identificar quais ou qual combinação de parâmetros do DBM proporciona melhores desempenhos, em cada cenário estudado, em termos dos indicadores selecionados para pesquisa;
2. Apresentar explicações para os resultados apresentados, apontando situações em que combinações distintas dos parâmetros permitem melhores desempenhos.

### 1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação foi dividida em seis capítulos com o intuito de formar uma estrutura lógica e simples para o desenvolvimento da pesquisa. Sendo assim, o Capítulo 1 realiza a contextualização do tema, apresenta as contribuições e as justificativas baseadas em uma revisão sistemática da literatura, formula o problema de pesquisa e expõe os objetivos geral e específicos.

No Capítulo 2, a TOC e sua evolução histórica são abordadas por meio de uma breve revisão, seguida da fundamentação dos conceitos sobre as naturezas das restrições e da aplicação do método S-DBR em ambientes MTA e em cadeias de suprimentos, enfatizando a relevância do método DBM ao apoiar as decisões nesses ambientes.

No Capítulo 3, estão descritos os métodos de pesquisa, as medidas de desempenho selecionadas e as etapas para a realização dos experimentos por meio de simulação da técnica DBM e suas combinações de algoritmos e parâmetros que compõem os tratamentos.

No Capítulo 4, os resultados obtidos com a simulação da técnica DBM em quatro cenários com configurações distintas para o comportamento da demanda são apresentados e discutidos.

Por fim, no Capítulo 5, as considerações finais da pesquisa são apresentadas, bem como suas limitações e sugestões para futuros trabalhos.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO CONCEITUAL

Nesse capítulo, a evolução histórica da Teoria das Restrições (*Theory of Constraints – TOC*) e as diversas áreas do conhecimento nas quais ela já foi aplicada são brevemente apresentadas. Em seguida, são abordadas as naturezas das restrições, o método Tambor-Pulmão-Corda Simplificado (*Simplified Drum-Buffer-Rope – S-DBR*) aplicado em ambientes *Make to Availability* (MTA) e a aplicação da TOC em cadeias de suprimentos por meio da solução de distribuição e reposição puxada. Por fim, o método, os algoritmos e parâmetros do Gerenciamento Dinâmico do Pulmão (*Dynamic Buffer Management – DBM*) são descritos como forma de embasar as próximas seções desta dissertação.

### 2.1 TEORIA DAS RESTRIÇÕES

Concebida pelo físico israelense Dr. Eliyahu Moshe Goldratt no final da década de 1970, a TOC teve as suas raízes formadas a partir de um *software* de programação finita para a otimização dos sistemas de produção denominado *Optimized Production Technology* (OPT). Desde então, seus conceitos foram aplicados com êxito em inúmeras áreas do conhecimento humano, elevando-a como um modelo de filosofia de gerenciamento global capaz de alavancar o desempenho e oferecer vantagens competitivas decisivas às organizações (COX III; SCHLEIER, 2013; SOUZA; PIRES, 2010; RAHMAN, 2002; BLACKSTONE, 2001; GOLDRATT, 1991).

De acordo com Blackstone (2013b), o OPT surgiu como o precursor do sistema de programação da produção Tambor-Pulmão-Corda (*Drum-Buffer-Rope – DBR*). A primeira versão desse *software* era restrito apenas a ambientes de produção repetitiva e tratava-se basicamente de um *kanban* automatizado.

O OPT enfrentava diversas barreiras organizacionais durante a sua implantação e as maiores dificuldades estavam no modo como as indústrias mensuravam as suas eficiências. Os operários eram avaliados de forma individual e por consequência, deveriam estar sempre ocupados, mesmo que estivessem produzindo algo que não constava na programação de produção. Para combater esse tipo de comportamento, Goldratt decidiu educar os gestores e trabalhadores na tentativa de extinguir a falácia da eficiência como sendo a principal medida de

produtividade do trabalhador (WATSON; BLACKSTONE; GARDINER, 2007; RAHMAN, 2002).

Assim, como parte desse esforço inicial, as nove regras do OPT foram lançadas (BLACKSTONE, 2013b; WATSON; BLACKSTONE; GARDINER, 2007; GOLDRATT; FOX, 1992; HAYLETT, 1986):

1. Balancear o fluxo, não a capacidade;
2. O nível de utilização de um recurso não gargalo não é determinado por seu potencial, mas pela restrição do sistema;
3. Utilização e ativação de um recurso não são sinônimos;
4. Uma hora perdida em um gargalo é uma hora perdida no sistema como um todo;
5. Uma hora economizada em um recurso não gargalo é apenas uma miragem;
6. Os gargalos determinam tanto o ganho quanto os estoques;
7. O lote de transferência pode não ser, e muitas vezes não deveria ser, igual ao lote de processamento;
8. Os lotes de processamento devem ser variáveis, e não fixos;
9. As programações devem ser estabelecidas examinando-se simultaneamente todas as restrições. Os tempos de atravessamento resultam da programação e não é possível predeterminá-los.

Em 1984, Goldratt e Cox publicaram o livro “A Meta”, sob a forma de um romance, fundamentando as principais ideias do OPT, a técnica dos Cinco Passos de Focalização e os métodos de programação da produção DBR e de controle da produção Gerenciamento do Pulmão (*Buffer Management* – BM). Em concomitância ao título da obra, os autores definiram que a meta de uma organização é “ganhar mais dinheiro hoje e no futuro” (GOLDRATT; COX, 2014; GOLDRATT, 2007; WATSON; BLACKSTONE; GARDINER, 2007; RAHMAN, 2002).

Os Cinco Passos de Focalização da TOC que estabelecem um processo de melhoria contínua podem ser assim descritos (GOLDRATT; ZIMMERMAN, 2017; GOLDRATT; COX, 2014; BARNARD, 2013; GOLDRATT, 2007; WATSON; BLACKSTONE; GARDINER, 2007; GOLDRATT, 1990):

1. Identificar a restrição do sistema;
2. Decidir como explorar a restrição do sistema;
3. Subordinar todo o resto à decisão acima;
4. Elevar a restrição do sistema;

5. Voltar ao passo número 1, mas sem permitir que a inércia torne-se uma restrição do sistema.

Do ambiente de manufatura, a TOC avançou para a área de finanças e medidas. Em 1983, na Conferência Internacional da APICS, Goldratt proclamou que a contabilidade de custos era a inimiga pública número um da produtividade, pois quando os seus princípios eram aplicados sobre as medidas de desempenho locais, nos custos dos produtos ou sobre as decisões de investimento de capitais, os gestores e tomadores de decisões eram induzidos à adoção de políticas e práticas que iriam contra a meta de uma organização (WATSON; BLACKSTONE; GARDINER, 2007).

Goldratt e Cox (2014) e Goldratt (1991) estabeleceram três medidas para as tomadas de decisões operacionais e que expressam a meta de se ganhar dinheiro. A primeira trata-se do ganho, que é definido como a taxa na qual o sistema gera dinheiro por meio das vendas. A segunda representa o inventário, que é definido como todo o dinheiro que o sistema investiu na compra de algo que pretende vender. A terceira medida é a despesa operacional, que reflete todo o dinheiro que o sistema gasta para transformar o inventário em ganho. Assim, a visão do mundo dos custos foi sendo substituída pela visão do mundo dos ganhos, cuja primeira caracteriza-se pela mentalidade inerentemente defensiva, enquanto a segunda estabelece que o sucesso restringe-se apenas pela capacidade da gestão de identificar e eliminar as restrições sistêmicas (BARNARD; IMMELMAN, 2013).

Depois do grande sucesso do livro “A Meta”, as fábricas que se tornaram bem-sucedidas e alavancaram em seus setores começaram a notar uma queda repentina no desempenho. Os ganhos obtidos anteriormente revelaram um excesso de mão de obra que em pouco tempo foi cortado devido à contenção de custos. Como o ganho já estava estagnado, o processo de melhoria contínua foi interrompido após as demissões e, conseqüentemente, o desempenho rapidamente se deteriorou. Então, em 1994, Goldratt publicou o livro “Não é Sorte”, apresentando os Processos de Raciocínio utilizados para eliminar qualquer tipo de conflito e problemas que envolvem restrições que não necessariamente sejam físicas. Além disso, nesse livro, a TOC foi aplicada como solução nas áreas de vendas, *marketing*, estratégia, controle de estoques e distribuição (GOLDRATT, 2007, 2004; RAHMAN, 2002).

Os Processos de Raciocínio auxiliam na busca pelas respostas das seguintes perguntas básicas: “o que mudar?”, “para o que mudar?” e “como causar a mudança?”. As cinco ferramentas utilizadas na implantação dos Processos de

Raciocínio são: árvore da realidade atual, árvore da realidade futura, árvore de pré-requisitos, árvore de transição e diagrama de dispersão de nuvem (LOWALEKAR; RAVI, 2017; KIM; MABIN; DAVIES, 2008; RAHMAN, 2002; GOLDRATT, 1990).

Segundo Cox III e Schleier (2013), as ferramentas dos Processos de Raciocínio talvez sejam a contribuição mais importante de Goldratt, pois elas permitem a elaboração de uma estrutura com linguagens para a esquematização da real relação de causa e efeito na definição de problemas, na exposição de dilemas conflitantes e suas respectivas soluções.

Em 1990, a TOC foi introduzida na área de Gestão de Projetos por meio de um novo método de programação e controle, mas somente em 1997, após Goldratt ter publicado o livro “Corrente Crítica”, foi que essa nova aplicação passou a ser estudada (WATSON; BLACKSTONE; GARDINER, 2007).

Os métodos tradicionais de Gestão de Projetos estimam os tempos de cada atividade com um nível relativamente alto de segurança, enquanto que no método da Corrente Crítica, as folgas são acumuladas em um único pulmão de projeto, permitindo reduções dos prazos de conclusão. Ainda com relação aos métodos tradicionais, o desenvolvimento do caminho crítico assume a premissa de que a capacidade dos recursos é infinita e que eles podem executar duas atividades simultaneamente. Goldratt, por outro lado, propõe que a duração total do projeto é determinada pela corrente crítica, pois além do tempo de duração das atividades, ela também considera a disponibilidade dos recursos e combate as multitarefas (COX III; SCHLEIER, 2013; WATSON; BLACKSTONE; GARDINER, 2007; STEYN, 2002; RAND, 2000).

Em 2009, o livro “Não é Óbvio?” foi publicado por Goldratt, Eshkoli e Brownleer (2011) e nele, os autores trazem à tona os principais problemas inerentes ao ambiente de varejo, como a falta de previsão precisa da demanda futura, longos prazos para reposição e altos níveis de estoques de alguns itens enquanto outros sofrem rupturas. Parte dos conceitos da TOC aplicados nessa obra foi exibida pela primeira vez em Goldratt (2004), que originou a solução de distribuição e reposição puxada. No entanto, os princípios do método DBM para gestão e controle dos estoques em cadeias de suprimentos foram apresentados pela primeira vez com a sua aplicação nos ambientes de varejo (GUPTA; ANDERSEN, 2018; HUANG et al., 2014; HOLT, 2013).

Em 34 anos após a publicação de “A Meta”, livro que consolidou a TOC, foram inúmeras as áreas de conhecimento humano em que ela já foi aplicada com sucesso. No livro “*Handbook da Teoria das Restrições*”, os organizadores Cox III e Schleier (2013) consolidam os relatos de implementações por praticantes e as atualizações teóricas da TOC. Além das diversas aplicações mencionadas durante essa seção, a TOC também foi implementada com êxito em gestão de pessoas, serviços de suporte ao cliente, gestão de serviços, na área da saúde, educação e até mesmo em prisões. Para Goldratt (1991, p. 7), “Já é tempo de perceber que o enfoque primário da TOC não é os gargalos na fábrica e nem somente uma técnica mecânica de otimização da produção. É, definitivamente, uma nova filosofia de gerenciamento global”.

## 2.2 NATUREZAS DAS RESTRIÇÕES

O termo gargalo foi fundamental na época em que as implantações do *software* OPT estavam ocorrendo. Até a primeira edição do livro “A Meta”, publicada em 1984, o termo restrição, com um significado mais genérico, ainda não havia sido criado (SCHRAGENHEIM, E., 2013a). Após a verbalização dos Cinco Passos de Focalização, em 1987, o volume 1 do *The Theory of Constraints Journal* foi publicado, anunciando a TOC como um método de gerenciamento e pela primeira vez o termo restrição substituiu o conceito de gargalo (GOLDRATT, 2013b, 2007; SCHRAGENHEIM, E., 2013a).

Segundo Goldratt (1990), restrições podem ser definidas como tudo aquilo que limita o sistema de melhorar significativamente seu desempenho em relação a sua meta. Para Cox III et al. (2012), restrição é o fator que, se a organização pudesse incrementá-la, explorá-la plenamente ou se subordinar a ela de forma mais eficaz, resultaria em um melhor desempenho em relação à sua meta.

Na literatura, as restrições são classificadas de diversas formas. De acordo com Pretorius (2014) e Gupta e Boyd (2008), restrições podem ser caracterizadas como físicas (por exemplo, um Recurso com Restrição de Capacidade [RRC] de produção) ou não físicas (por exemplo, falta de demanda de mercado, relacionamento ruim com fornecedores, políticas ou comportamentos). Naor, Bernardes e Coman (2013), Chang e Huang (2011) e Blackstone (2001) indicam que as restrições geralmente possuem uma das três seguintes formas: física (recurso com capacidade inferior à demanda),

mercado (demanda menor do que as capacidades dos recursos) e política (regras formais ou informais que limitam a capacidade produtiva do sistema).

Em concordância com Schragenheim e Dettmer (2001), a variedade de fatores que podem restringir o desempenho de uma organização muitas vezes deixam as pessoas confusas. Em uma análise mais aprofundada, os autores identificaram sete possíveis categorias de restrições. O Quadro 1 mostra as sete diferentes naturezas das restrições e define brevemente cada uma.

Quadro 1 – Definições das diferentes naturezas das restrições

Restrição	Definição
Mercado	Quando a demanda é inferior à capacidade do sistema, o mercado passa a ser a restrição ativa.
Recursos	Pessoas, equipamentos ou máquinas que trabalham na produção de produtos ou serviços, mas que não conseguem responder às necessidades da demanda de mercado, são considerados recursos com restrição de capacidade (RRC) ativos.
Material	Uma restrição de material existe quando o sistema não consegue obter os suprimentos necessários para a produção de produtos ou serviços, envolvendo a qualidade e a falta de materiais.
Fornecedores	Quando não há confiabilidade nas entregas ou os <i>lead times</i> são tão longos, a demanda de mercado é desencorajada, transferindo as restrições para os fornecedores.
Financeira	As empresas possuem restrições financeiras quando os seus fluxos de caixa não permitem o processamento de diversos pedidos simultâneos. Por exemplo, quando é necessário receber o pagamento de alguns pedidos para que novos materiais sejam comprados, permitindo a produção de novas ordens.
Conhecimento ou competência	A restrição de conhecimento ou competência ocorre quando a organização não possui o domínio sobre o que precisa ser feito para ter sucesso e qualquer melhoria no seu <i>know how</i> resultaria em mais lucro.
Política	Uma política não precisa ser necessariamente um documento escrito, pois as formas de pensar, valores e as culturas organizacionais podem ser as principais barreiras que limitam o desempenho de um sistema.

Fonte: Adaptado de Schragenheim e Dettmer (2001)

Ambientes de fabricação normalmente têm as suas restrições alternando entre fontes internas e externas e tendem a ser mais complexos, pois em um determinado momento, uma melhora no desempenho das operações pode fazer com que a restrição, que antes era de capacidade, mude para o mercado. Do mesmo modo,

melhorias nas estratégias de vendas podem fazer com que a restrição volte a ser nas operações (GOLDRATT; ESHKOLI; BROWNLEER, 2011).

Essa complexidade não atinge os ambientes varejistas dado que o mercado ou o número de pessoas que entram nas lojas é uma restrição permanente para esses sistemas, não importando o grau de melhora obtida pela exploração e elevação dessa restrição (GOLDRATT; ESHKOLI; BROWNLEER, 2011; SOUZA; PIRES, 2010; GOLDRATT; GOLDRATT, 2003).

Schragenheim, Dettmer e Patterson (2009) apontam que dinheiro em caixa e espaço físico podem ser potenciais restrições em ambientes de distribuição e varejo, além da restrição de mercado. Os autores ainda mencionam que uma melhor exploração dessas restrições podem ser traduzidas em altas taxas de rotatividade de estoque. Tal medida de desempenho converge para a Rotatividade por Atendimento Imediato da Demanda (RAID), um dos indicadores que foram utilizados para avaliação dos resultados desta pesquisa.

### 2.3 SIMPLIFIED DRUM-BUFFER-ROPE EM AMBIENTES MAKE TO AVAILABILITY

Em 2001, o sistema S-DBR foi introduzido no livro *Manufacturing at Warp Speed* como uma abordagem simplificada do método DBR tradicional. O S-DBR diferencia-se do seu antecessor por admitir que para um número considerável de empresas, a demanda não consome toda a capacidade disponível de produção na maior parte do tempo. Assim, os gargalos ou RRC ativos deixam de existir e o mercado torna-se a nova restrição do sistema. Sob essa perspectiva, entende-se que todos os recursos da linha possuem capacidade protetiva, inclusive o RRC. Portanto, a elaboração de uma programação detalhada do RRC e o gerenciamento de três pulmões utilizados no DBR tradicional deixam de ser viáveis e o sistema passa a operar com base em um mecanismo denominado Carga Planejada, que assegura as datas de entrega dentro de um certo horizonte de tempo, e um único pulmão de mercado, que protege as ordens desde a liberação de matérias-primas até suas finalizações (CHAKRAVORTY; HALES, 2016; BUESTÁN BENAVIDES; VAN LANDEGHEM, 2015; CHANG; HUANG, 2014, 2011; SOUZA; PIRES, 2014; LEE et al., 2010; SOUZA; BAPTISTA, 2010; SCHRAGENHEIM; DETTMER; PATTERSON, 2009; SCHRAGENHEIM; DETTMER, 2001).



No início, os sistemas DBR e S-DBR foram desenvolvidos com a premissa de que se os prazos de entrega pudessem ser reduzidos, as empresas conseguiriam trabalhar em ambientes de produção *Make to Order* (MTO), satisfazendo apenas as ordens firmes de seus clientes e reduzindo seus estoques de produtos acabados (*Finished Goods Inventory* – FGI) (SOUZA; PIRES, 2014; SCHRAGENHEIM; DETTMER; PATTERSON, 2009).

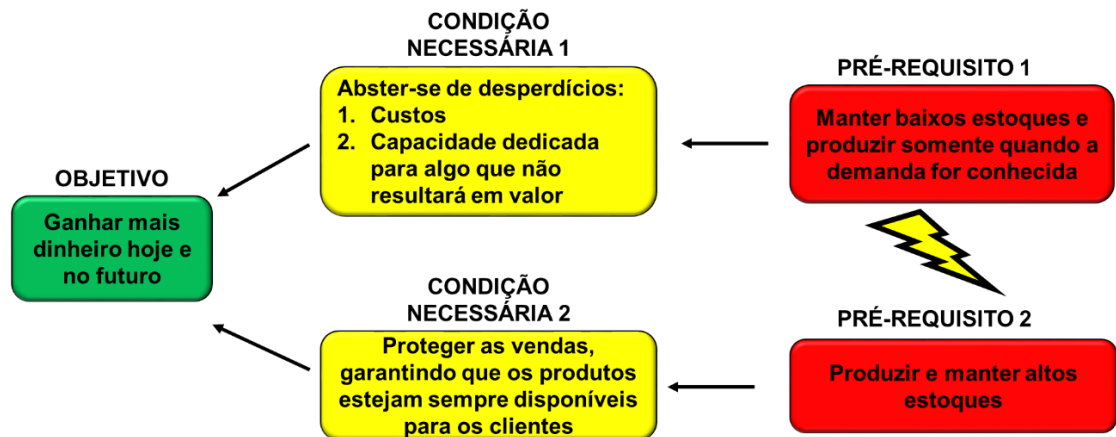
De acordo com Schragenheim, Dettmer e Patterson (2009), tanto o DBR tradicional, como o S-DBR beneficiam consideravelmente as pequenas e médias empresas que operam em MTO. No entanto, para grandes companhias essa prática é menos utilizada, pois seus produtos são comercializados através de grandes redes de distribuidores e varejistas. Portanto, para muitas empresas, tudo aquilo que é produzido está quase sempre preenchendo estoques em algum lugar.

Seguir a estratégia MTO, em geral, é a forma mais atrativa e adequada de se produzir em virtude da grande variedade de produtos ofertados, das pressões por reduções de níveis de estoques e custos e da necessidade de lançamento de novos modelos ao mercado com maior frequência. Contudo, quando o tempo de produção das ordens é superior ao tempo no qual os clientes estão dispostos a esperar ou quando os cenários compreendem ambientes de distribuição e de redes de varejistas, a estratégia *Make to Stock* (MTS) acaba sendo uma escolha inevitável para assegurar a disponibilidade de produtos destinados à entrega imediata e proteger as vendas (SOUZA; PIRES, 2014, 2010; SCHRAGENHEIM; DETTMER; PATTERSON, 2009; SCHRAGENHEIM; BURKHARD, 2007; GOLDRATT; GOLDRATT, 2003; SCHRAGENHEIM, 2002).

A gestão dos FGI deve ser realizada com prudência, pois ao mesmo tempo em que eles são fatores fundamentais para proteger as vendas, manter muito estoque no sistema pode causar dois tipos de desperdícios: o primeiro está relacionado aos custos assumidos pela compra de materiais, fabricação e armazenagem, enquanto o segundo refere-se à capacidade empregada para produzir algo que não resultará em valor para o sistema a curto prazo e que pode ocupar grande parte da capacidade da fábrica, impedindo a produção dos itens que realmente estão sendo demandados no momento (SCHRAGENHEIM; DETTMER; PATTERSON, 2009; GOLDRATT; GOLDRATT, 2003; SCHRAGENHEIM, 2002). A Figura 2 ilustra o conflito entre manter altos níveis ou baixos níveis de estoque.

Há cerca de uma década, em vista da necessidade de diversas organizações terem que seguir a estratégia MTS, os conceitos do S-DBR foram ampliados e a TOC passou a ter um método para lidar com a gestão de estoques e desafiar o conflito inerente aos ambientes MTS, conforme mostra a Figura 2. Tal método foi denominado de MTA (SOUZA; PIRES, 2014; SCHRAGENHEIM; DETTMER; PATTERSON, 2009; SCHRAGENHEIM, E., 2007).

Figura 2 – Conflito em ambientes MTS



Fonte: Autor (2018)

MTA é a declaração de que a fábrica tem um compromisso com o mercado em que atua e tem a disponibilidade de produtos sempre que for necessário. Essa definição difere-se da estratégia MTS, pois para os métodos tradicionais de gestão de estoques, nenhum compromisso de disponibilidade é firmado com o mercado (SOUZA; PIRES, 2014; SCHRAGENHEIM; DETTMER; PATTERSON, 2009; SCHRAGENHEIM, E., 2007).

Duas variáveis são primordiais na determinação do nível correto de estoque para a MTA: demanda e tempo de reposição. Modelos de previsões, quando utilizados, buscam respostas para questões sobre quanto um sistema poderia vender, sendo que o objetivo principal é entender o que de fato esse mesmo sistema pode vender. Essa perspectiva concreta favorece a disponibilidade e opõe-se à produção em excesso. Já o tempo de reposição é definido como o intervalo entre o consumo de uma unidade de estoque e a reposição dessa unidade. Sendo assim, quanto menor for o tempo de reposição para um sistema, menor será a quantidade de estoque

necessária para assegurar a disponibilidade (SOUZA; PIRES, 2014; SCHRAGENHEIM, E., 2013b; SCHRAGENHEIM; DETTMER; PATTERSON, 2009).

Schragenheim, Dettmer e Patterson (2009) estabeleceram cinco princípios que regem uma implantação do método MTA:

1. Estoque e tempo de reposição são intimamente correlacionados. Reposições rápidas e com maiores frequências permitem reduções nos níveis de estoques para garantir a disponibilidade e inibir as perdas de vendas;
2. Estoque em processo atua como um complemento para a proteção da disponibilidade. Mesmo que o FGI seja o protetor direto da disponibilidade, ordens que estão em processo e “quase prontas” contribuem para assegurá-la. Dessa forma, mesmo que o nível de FGI esteja baixo, o Estoque Alvo (*Target Level* – TL) no sistema sempre permanecerá constante e certamente, muito em breve uma ordem de reposição será finalizada;
3. Previsões de demanda de curto prazo estão baseadas na concepção de que amanhã será semelhante a hoje. Logo, a menos que se note uma clara tendência de mudança da demanda ou do suprimento, assume-se que o TL atual é correto para assegurar a disponibilidade de produtos a curto prazo;
4. Os *status* dos FGI estabelecem as prioridades no chão de fábrica, seja para a liberar uma nova ordem de produção ou para agilizar uma que já esteja em processo. Determina-se a prioridade de cada item por meio dos tamanhos dos seus desvios em relação aos respectivos TL;
5. A estagnação é indesejável. Se os estoques permanecerem no mesmo *status* de seus pulmões por certo tempo, isso significa que os níveis de TL atuais necessitam de reajustes.

Com base nesses cinco princípios, o processo de produção no método MTA deve seguir os quatro passos abaixo (SOUZA; PIRES, 2014; SCHRAGENHEIM; DETTMER; PATTERSON, 2009):

- **Passo 1: determinar os níveis iniciais de TL**

O TL inicial a ser mantido em cada ponto de armazenamento do sistema no método MTA pode ser obtido de duas maneiras práticas. Uma delas é considerar a demanda média durante o tempo de reposição com a adição de um estoque de segurança, garantindo a proteção contra possíveis picos de demanda ou atrasos durante a reposição. Outro método consiste em determinar a demanda máxima

esperada durante um tempo de reposição confiável. Conseqüentemente, para a obtenção de baixos níveis de estoque, é fundamental que as reposições ocorram o mais rápido possível.

Nesse passo, não há necessidade de buscar altos níveis de precisão, pois de acordo com o quinto princípio, o TL deve ser ajustado constantemente de acordo com o comportamento do *Status* do Pulmão (*Buffer Status* – BS).

- **Passo 2: Gerar a ordem de produção**

Após a definição inicial do TL, é de responsabilidade da produção mantê-lo sempre constante no sistema. Isso significa que, se o FGI somado ao estoque em processo for menor do que o TL, então uma nova ordem de produção deve ser gerada com o tamanho exato dessa diferença para estabilizar o sistema. Se for necessário, deve-se estabelecer uma política de lote mínimo para que os recursos não se sobrecarreguem ao ponto de surgir novos gargalos (RRC ativos) devido a um excesso de *setups*.

A liberação da nova ordem de produção para o chão de fábrica deve ser autorizada segundo a sua prioridade e conforme o nível de carregamento da Carga Planejada.

- **Passo 3: Gerenciamento do Pulmão**

O BM é o mecanismo de controle da produção da TOC (SCHRAGENHEIM, E., 2013a, 2013b; WATSON; BLACKSTONE; GARDINER, 2007). Essa ferramenta auxilia na definição das prioridades e alerta os operadores quando uma ordem específica precisa ser priorizada.

No DBR tradicional e no S-DBR aplicado em ambientes MTO, os pulmões são estipulados na forma de tempo. Já no método MTA, os estoques representam os pulmões e também são os responsáveis pela proteção do sistema. Um pulmão é dividido em três diferentes regiões, cada uma correspondendo a uma cor (verde, amarela e vermelha) que representa o seu *status*.

O *status* verde indica que mais de dois terços do TL encontra-se como FGI, logo, a proteção é suficiente. O *status* amarelo significa que o FGI contém entre um terço e dois terços do TL, nesse momento é importante monitorar o andamento da ordem e verificar os possíveis problemas que podem interferir na sua finalização. O *status* vermelho alerta que a proteção é inferior a um terço do TL, portanto, a reposição deve ocorrer imediatamente, caso contrário, o sistema estará exposto a sofrer rupturas de estoque (SCHRAGENHEIM, E., 2013).

- **Passo 4: Manter os corretos níveis de TL**

Conforme o quinto princípio do método MTA, a estagnação é indesejável. Assim, os sinais fornecidos pelo BS permitem que o TL tenha o seu nível ajustado pelo DBM. Se o pulmão permanecer por muito tempo na região verde, significa que o TL atual é muito grande e nesse caso existe uma oportunidade de redução. Por outro lado, se o pulmão frequentemente invadir a região vermelha, esse é um alerta para elevar o nível do TL, pois a segurança da disponibilidade está ameaçada.

Na seção 2.4, os conceitos da TOC desenvolvidos para lidarem com a gestão de estoques em cadeias de suprimentos e a proposta de solução de distribuição e reposição puxada são apresentados em maiores detalhes.

## 2.4 TOC APLICADA EM CADEIAS DE SUPRIMENTOS: A SOLUÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO E REPOSIÇÃO PUXADA

Segundo Schragenheim, Dettmer e Patterson (2009), a fabricação dos produtos cobre apenas metade dos desafios enfrentados pelas cadeias de suprimentos. A outra metade é fazer com que os consumidores finais consigam adquiri-los. A produção por si só não assegura uma venda, mesmo que tais produtos estejam realmente sendo demandados. Portanto, de alguma forma, eles precisam alcançar o usuário final, caso contrário, serão apenas estoques parados em um armazém de algum lugar.

Apesar das operações de distribuição não realizarem qualquer mudança nos produtos, esse ambiente também é caracterizado pela utilização de recursos e está propenso a lidar com restrições como, por exemplo, meios de transporte, espaço e dinheiro em caixa. As redes de distribuição também estão constantemente sob a influência da Lei de Murphy e podem ser bem complexas, principalmente quando o prazo de validade dos produtos é um fator limitante (HUANG, 2013; GOLDRATT; ESHKOLI; BROWNLEER, 2011; SOUZA; PIRES, 2010; SCHRAGENHEIM; DETTMER; PATTERSON, 2009; SIMATUPANG; WRIGHT; SRIDHARAN, 2004).

O método tradicional de gerenciamento das redes de distribuição considera que as previsões de vendas possuem um importante papel dentro das organizações, pois elas permitem a predição da quantidade de itens que serão vendidos no futuro, em um determinado local e dentro de um período planejado (SCHRAGENHEIM, A., 2013; SCHRAGENHEIM; DETTMER; PATTERSON, 2009). No entanto, mesmo com inúmeros métodos sofisticados de previsões existentes, na prática, o que muito se vê

é a falta de diversos tipos de produtos que estão sendo altamente demandados, enquanto outros que se encontram sob baixa procura, estão ocupando grande parte dos espaços disponíveis das prateleiras (ZEMZAM et al., 2017; PONTE et al., 2016; SCHRAGENHEIM, A., 2013; GOLDRATT; ESHKOLI; BROWNLEER, 2011).

Sob o ponto de vista da TOC, planejamentos baseados em previsões apresentam algumas desvantagens, tais como (SOUZA; PIRES, 2014; SCHRAGENHEIM, A., 2013; SCHRAGENHEIM; DETTMER; PATTERSON, 2009):

- Falhas durante a definição das reservas de estoque de cada item, causando rupturas de estoque de alguns produtos e excessos de outros.
- Falhas por muitas vezes considerar apenas dados com valores médios e ignorar as incertezas (desvios) durante o planejamento.
- Falhas por não avaliar constantemente a importância do nível atual de estoque de segurança, impossibilitando a justificativa de sua necessidade.
- Falhas ao estender as previsões por longo prazo na busca pelo dimensionamento de lotes econômicos, visando maiores eficiências.
- Turbulências causadas por mudanças do plano da previsão original de longo prazo (“reprevisões”) devido às variabilidades ocorridas desde que este foi gerado.

De acordo com Schragenheim, A. (2013), os principais efeitos indesejáveis inerentes aos ambientes de cadeias de suprimentos são: baixa rotatividade de estoque, investimentos altos em estoque, vendas perdidas por rupturas de estoque de determinados itens, estoque excedente desses mesmos itens em outros locais, alto índice de obsolescência de estoque e falta de responsividade em relação às necessidades dos clientes.

Puche et al., (2016) e Simatupang, Wright e Sridharan (2004), apontam a falta de colaboração e a busca por ótimos locais nas cadeias de suprimentos como causas desses efeitos indesejáveis. Ponte et al. (2016) verificaram que o uso de ferramentas e abordagens holísticas, como a TOC, para sincronização das decisões em cadeias de suprimentos pode beneficiá-las em todos os seus elos.

Para Schragenheim, A. (2013), uma das principais causas desses efeitos indesejáveis é a tendência de uma cadeia de suprimentos tradicional manter um comportamento empurrado, ou seja, os produtos são forçados na direção a jusante da cadeia até os varejistas como forma de elevar o consumo, pois assume-se a

premissa de que um produto tem uma pequena chance de ser vendido caso ele não apresente uma boa disponibilidade no ponto de consumo. O principal impacto desse comportamento dentro das cadeias de suprimentos é a dependência de um bom modelo de previsão de vendas que tente prever corretamente o quê, onde e quando será necessário ter estoques de um determinado produto em um local específico (GOLDRATT; ESHKOLI; BROWNLEER, 2011; SOUZA; PIRES, 2010).

A TOC baseia a sua solução para os efeitos indesejáveis existentes nas cadeias de suprimentos na análise do impacto que os fatores fornecimento e demanda exercem, de forma agregada, sobre a gestão dos estoques entre os seus integrantes. O princípio dessa solução é que se for possível responder muito rápido à demanda, mantendo um baixo tempo de reposição, então, o uso de modelos complexos de previsão de vendas de curto prazo torna-se desnecessário. Mesmo que essa situação seja muito difícil de ser alcançada na prática, o objetivo da TOC é manter uma disponibilidade boa o suficiente dos produtos em todos os pontos de consumo e, assim, conseguir responder as três perguntas básicas: o quê, onde e quando manter os estoques. Um fator limitante para o alcance desse objetivo é a impossibilidade de manter alta disponibilidade de todos os itens em todos os locais, devido às restrições financeiras e limites de espaço para armazenagem, até mesmo se a obsolescência não for um fator complicador. Por outro lado, grandes quantidades de estoques de itens de baixa demanda afetam o sistema de modo geral, reduzindo o total de vendas (SCHRAGENHEIM, A., 2013; SOUZA; PIRES, 2010).

Conforme a seção 2.2, as potenciais restrições para ambientes de distribuição e varejo são dinheiro em caixa e espaço físico, além da permanente restrição de mercado ou do número de pessoas que entram nas lojas querendo comprar (GOLDRATT; ESHKOLI; BROWNLEER, 2011; SOUZA; PIRES, 2010; SCHRAGENHEIM; DETTMER; PATTERSON, 2009; GOLDRATT; GOLDRATT, 2003). Para explorá-las e subordinar o restante do sistema a elas, a TOC oferece uma solução de distribuição e reposição puxada definida pelo dicionário TOCICO como: um método que envolve o dimensionamento de pulmões de estoque e, em seguida, o monitoramento e reabastecimento da cadeia de suprimentos com base no consumo real dos consumidores finais em vez de ser baseado por previsões de vendas. Cada integrante da cadeia de suprimentos mantém um TL igual à demanda máxima esperada durante um tempo de reposição, ajustado por um fator de incerteza relacionado ao tempo de reposição. Assim, um pedido de reposição deve ser emitido

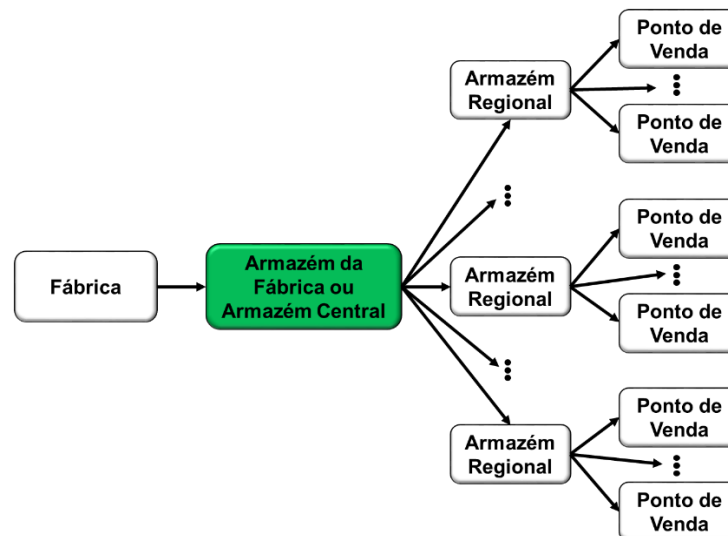
na mesma quantidade que foi vendida no intervalo entre pedidos. Essa quantidade do pedido pode variar somente se os níveis de TL forem ajustados para cima ou para baixo quando o DBM detectar mudanças no padrão da demanda (COX III et al., 2012).

Schrageheim, A. (2013) define o procedimento que delinea a visão da solução de distribuição e reposição puxada da TOC baseado na renovação constante dos estoques consumidos por meio de seis passos:

- **Passo 1: Agregar o estoque no armazém da fábrica ou armazém central**

O primeiro passo consiste em manter os estoques com pulmões maiores no elo da cadeia onde ocorre a divergência, por exemplo, no armazém da fábrica ou armazém central, conforme destaca a Figura 3. Entende-se que a partir desse elo, os estoques são encaminhados para atender diferentes necessidades e os pontos de venda são responsáveis por puxar o reabastecimento norteados por suas demandas reais. Assim, cada ponto de venda consegue satisfazer a demanda respondendo as três perguntas (o quê, onde e quando) com o menor nível de estoque possível (CHANG; CHANG; CHANG, 2017; CHANG; CHANG; SUN, 2015; SCHRAGENHEIM, A., 2013, 2007; WU et al., 2013, 2010a; SOUZA; PIRES, 2010).

Figura 3 – Agregação dos estoques no ponto onde ocorre a divergência



Fonte: Adaptado de Schrageheim, A. (2013) e Wu et al. (2010a)

Segundo Schrageheim, Dettmer e Patterson (2009), limitações de espaços nas lojas dificultam uma cadeia de suprimentos de manter os produtos sempre próximos dos consumidores finais. Portanto, o armazém da fábrica ou o armazém central são adicionados num ponto intermediário entre os pontos de venda e a fábrica

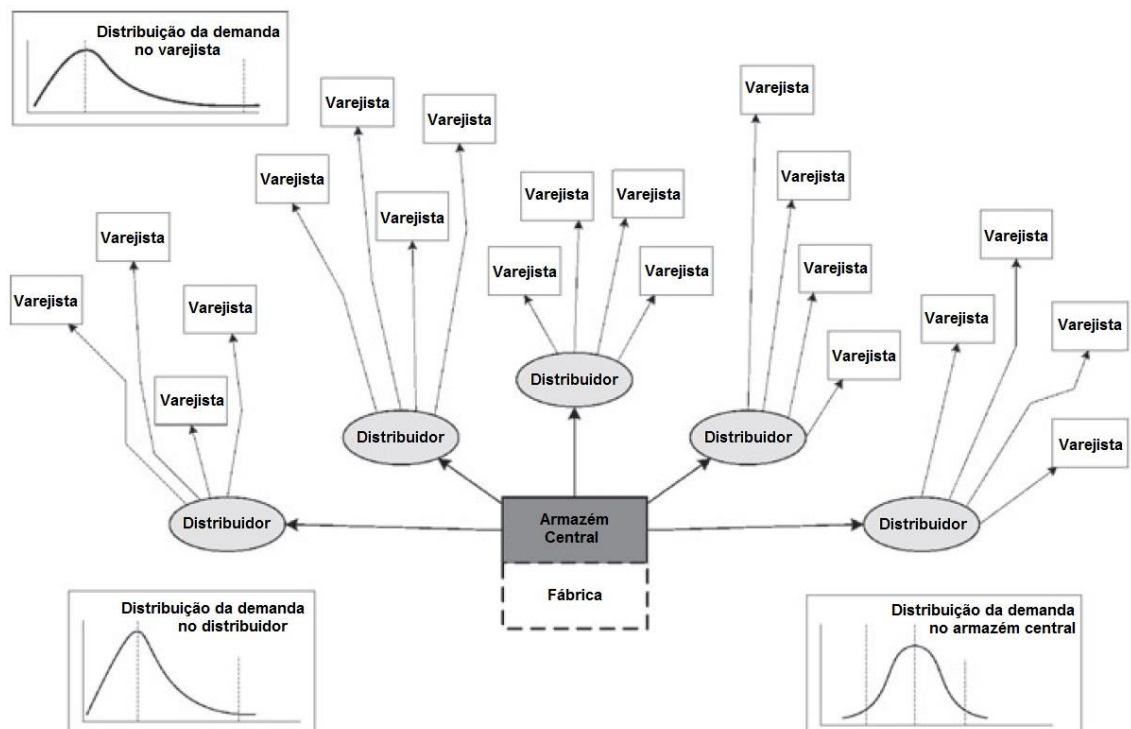


para compensar a restrição de espaço físico e facilitar as reposições. Uma segunda justificativa para a implantação do armazém da fábrica ou armazém central é que geralmente eles ficam localizados em regiões de baixo valor por unidade de área, enquanto que os pontos de venda se situam em lugares mais nobres, inviabilizando a manutenção de altos estoques para cada item.

De acordo com os princípios estatísticos, a variância geral total calculada é menor do que a soma das variâncias individuais (CHANG; CHANG; SUN, 2015). Dessa forma, os estoques mantidos nos pontos de divergência estão sujeitos a variabilidades menores da demanda e possibilitam a redução da quantidade total de estoque na cadeia de suprimentos (CHANG; CHANG; CHANG, 2017; SOUZA; PIRES, 2010; SCHRAGENHEIM; DETTMER; PATTERSON, 2009).

A Figura 4 mostra parte de uma cadeia de suprimentos e ilustra as distribuições de demanda presentes nos níveis dos varejistas, distribuidores e no armazém central. Nota-se que o efeito da agregação no armazém central origina uma distribuição mais próxima de uma normal, permitindo um maior controle sobre os desvios (SCHRAGENHEIM; DETTMER; PATTERSON, 2009).

Figura 4 – Efeito da agregação sobre as distribuições da demanda em níveis distintos de uma cadeia de suprimentos



Fonte: Adaptado de Schragenheim; Dettmer e Patterson (2009)

- **Passo 2: Determinar o TL inicial para todos os elos da cadeia de suprimentos com base na demanda, na oferta e no tempo de reabastecimento**

A dimensão do TL é a quantidade máxima de um item mantida entre os integrantes de uma cadeia de suprimentos para proteger o ganho. O TL é determinado em função do índice de demanda e da velocidade em que o sistema consegue responder a ela por meio das reposições (SOUZA; PIRES, 2014, 2010; SCHRAGENHEIM, A., 2013; WU et al., 2013).

O tempo de reposição para a TOC é dividido entre os mesmos componentes do tempo de reposição tradicional, isto é, a soma entre o Tempo do Pedido (TP), tempo de produção e tempo de transporte. O fator significativo que os diferem é que para a TOC, o tempo de reposição começa a ser contado a partir do momento em que a unidade é consumida e não do momento em que é identificada a necessidade de um pedido de reposição, como acontece para os métodos de mín-max e do ponto de pedido. Assim, sob a perspectiva da TOC, uma ordem de reposição deve ser solicitada no menor intervalo possível a partir do momento da venda, o que de certa forma, contraria a política de lotes econômicos (SCHRAGENHEIM, A., 2013; SCHRAGENHEIM; DETTMER; PATTERSON, 2009).

O TP ocupa a maior parte do tempo total de reposição para o uso de métodos tradicionais. A Figura 5 mostra o estoque em função do tempo no gráfico conhecido como dente de serra e a porção do TP em relação ao Tempo de Suprimento (TS), definido como a soma dos tempos de produção e transporte. Observa-se que se o fornecimento for de origem do armazém central ou dos distribuidores, o tempo de produção é zero e, portanto, o TS é igual ao tempo de transporte. (SOUZA; PIRES, 2014; SCHRAGENHEIM, A., 2013).

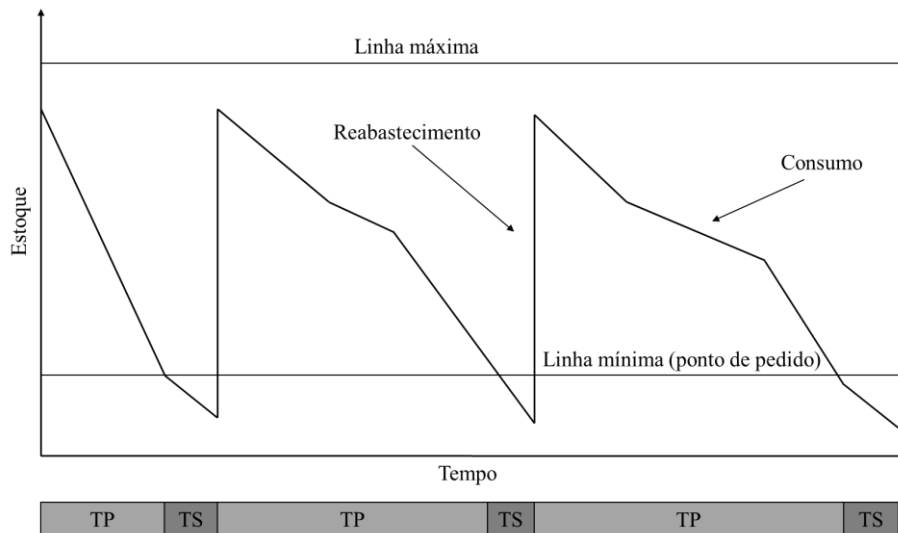
Quando a emissão da ordem de reposição ocorre simultaneamente ou próxima do momento do consumo, o TP tende a diminuir para um valor próximo de zero, reduzindo o tempo de reposição em grande escala e permitindo um nível de estoque menor para satisfazer o mesmo nível de demanda.

Schrageheim, A. (2013) destaca quatro efeitos desejáveis obtidos por meio da redução do tempo de reposição:

1. A quantidade de estoque para cobrir a demanda durante o tempo de reposição diminui;
2. O nível de estoque de segurança também diminui;

3. As previsões cobrem um período de tempo menor, logo são mais precisas;
4. A agilidade da resposta à demanda real aumenta.

Figura 5 – Gráfico dente de serra típico de modelos tradicionais de gestão de estoques



Fonte: Adaptado de Schragenheim, A. (2013)

De acordo com Souza e Pires (2010), a determinação dos níveis iniciais de TL devem considerar os seguintes fatores:

- Tempo médio de reposição;
- Demanda média durante o tempo de reposição;
- Variações da demanda dentro do tempo de reposição;
- Variações no tempo de reposição;
- Perdas causadas por rupturas;
- Tempo de tolerância dos consumidores;
- Custo de manter o estoque.

Logo, o TL inicial para cada local e cada item é calculado pela máxima demanda prevista dentro do tempo médio de reposição, ajustada por um fator de segurança (SOUZA; PIRES, 2010; GOLDRATT; GOLDRATT, 2003).

- **Passo 3: Aumentar a frequência de reabastecimento com base na reposição do consumo real**

O método de compra tradicional incentiva o uso de grandes lotes. Isso acontece devido ao comprador buscar sempre economias de escala, visando o melhor desempenho local. Assim, em vez de emitir várias ordens de reposição pequenas, ele tenta otimizar tempo e esforço para processar um único pedido. O comportamento

empurrado de uma cadeia de suprimentos incentiva a negociação de grandes volumes, pois geralmente a quantidade comprada é diretamente proporcional ao desconto oferecido. Por fim, as limitações dos veículos transportadores e o tempo necessário para consolidação de uma carga contribuem para justificar o método tradicional de compra (SCHRAGENHEIM, A., 2013; SOUZA; PIRES, 2010; SIMATUPANG; WRIGHT; SRIDHARAN, 2004; GOLDRATT; GOLDRATT, 2003).

O desenvolvimento da tecnologia da informação e comunicação juntamente com as práticas da gestão da cadeia de suprimentos têm permitido mitigar esses conflitos por meio da integração dos processos entre as empresas de uma mesma cadeia. Logo, o esforço necessário para a determinação e submissão de pedidos não é reconhecido como uma barreira para o método proposto pela TOC. Os descontos oferecidos pela comercialização de grandes lotes só existem entre entidades de negócios diferentes e os custos de transportes não podem ser justificados pela redução da quantidade de cada produto, visto que o *mix* de produtos a ser disponibilizado tende a aumentar. (PIRES, 2011; GOLDRATT; GOLDRATT, 2003; TROQUE; PIRES, 2003).

Ao aumentar uma frequência de entrega, os custos das remessas também aumentam. Por outro lado, diminuí-la, impactará negativamente na disponibilidade dos produtos e nos níveis elevados de estoques para cobrir as variações da demanda. Dessa forma, seguir o Passo 2, reduzindo consideravelmente o tempo de reposição, e aumentar a frequência de reabastecimento, são técnicas propostas pela TOC que contribuem significativamente na redução dos estoques nas cadeias de suprimentos (SCHRAGENHEIM, A., 2013).

- **Passo 4: Gerenciar o fluxo dos estoques utilizando pulmões e seus respectivos status**

Como a TOC faz uso de pulmões para proteger os sistemas e os processos de suas variabilidades e incertezas inerentes (SCHRAGENHEIM; DETTMER, 2001). Em ambientes MTA, de distribuição ou varejo, os pulmões são utilizados na forma de estoques, que correspondem às quantidades de materiais em pontos de uma cadeia de suprimentos com a função de proteger o ganho. Eles são encontrados sob a forma de matéria-prima, estoque em processo ou FGI (SCHRAGENHEIM, A., 2013; COX III et al., 2012).

O BS corresponde à relação entre o número de unidades presentes no pulmão ou FGI e o tamanho do TL expressa em porcentagem, conforme a Equação 1:

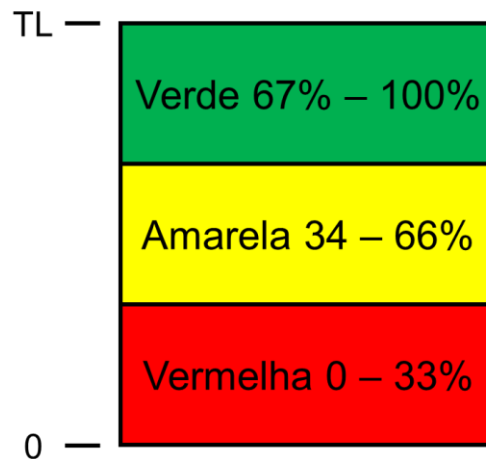
$$BS = \frac{FGI}{TL} \quad (1)$$

O pulmão é dividido em três regiões com as cores verde, amarela e vermelha e o seu BS determina qual é a sua cor (SOUZA; PIRES, 2014; 2010; SCHRAGENHEIM, A., 2013; COX III et al., 2012):

- *Status* entre 67% e 100%: Verde – O estoque é alto e oferece uma proteção mais que suficiente para o momento.
- *Status* entre 34% e 66%: Amarelo – O estoque é adequado, mas é necessário solicitar mais unidades aos elos anteriores da cadeia de suprimentos.
- *Status* entre 0 e 33%: Vermelho – O estoque está prestes a se esgotar e a necessidade de reabastecimento é urgente.

A Figura 6 mostra as diferentes regiões do pulmão de estoque e destaca que o TL equivale ao BS de 100%.

Figura 6 – Regiões e graduação dos status do pulmão de estoque



Fonte: Adaptado de Schragenheim, A. (2013) e Goldratt e Goldratt (2003)

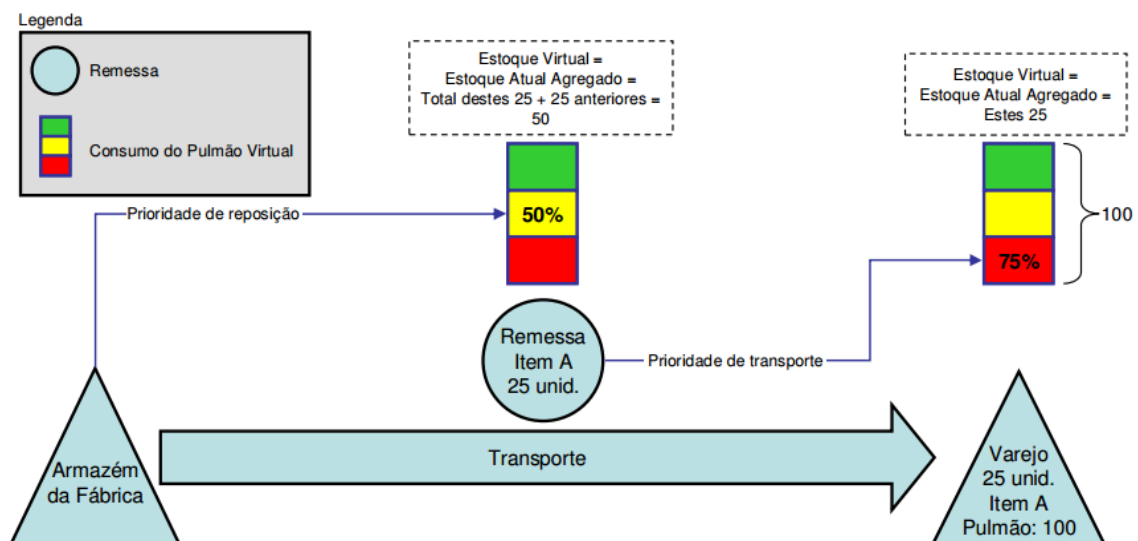
Complementarmente foi desenvolvido o conceito de Penetração de Pulmão Virtual (PPV), que permite a identificação das prioridades em qualquer local, desde que sejam considerados os BS dos elos à jusante da cadeia de suprimentos (SCHRAGENHEIM, A., 2013).

A penetração do pulmão corresponde à relação entre o número de unidades ausentes no pulmão e o tamanho do TL expressa em porcentagem. O número de

unidades ausentes é obtido por meio da subtração entre o tamanho do TL e a quantidade atual de FGI.

A Figura 7 mostra a utilização do conceito de PPV para a gestão de estoques na cadeia de suprimentos. Nela, o tamanho do pulmão de estoque do varejista para o item A é de 100 unidades, mas no momento, ele possui apenas 25 disponíveis e ainda está aguardando uma remessa de mais 25 unidades do armazém da fábrica. Em relação ao varejista, o estoque virtual é igual ao estoque atual, ou seja, as 25 unidades disponíveis, correspondendo a uma PPV de 75% e um BS de 25%. Em relação ao armazém da fábrica, o estoque virtual é igual à quantidade disponível no varejista somada com a quantidade da remessa, ou seja, 50 unidades, que equivalem a uma PPV de 50% (SCHRAGENHEIM, A., 2013).

Figura 7 – Aplicação do conceito de PPV



Fonte: Adaptado de Schragenheim, A. (2013)

### • Passo 5: Executar o método DBM

A TOC oferece métodos simples e objetivos que facilitam a sua compreensão e utilização. Os conceitos apresentados até o momento, como dimensionamento de pulmões de estoque ou TL, determinação de BS, aumento da frequência de reabastecimento e penetração do pulmão, substituem a utilização de técnicas sofisticadas de previsão de vendas. O DBM é outro elemento chave da TOC, que consiste em um processo que ajusta o nível alvo de um determinado item segundo o comportamento do seu FGI (CHANG; CHANG; CHANG, 2017; SCHRAGENHEIM, A., 2013; COX III et al., 2012; SCHRAGENHEIM; DETTMER; PATTERSON, 2009).

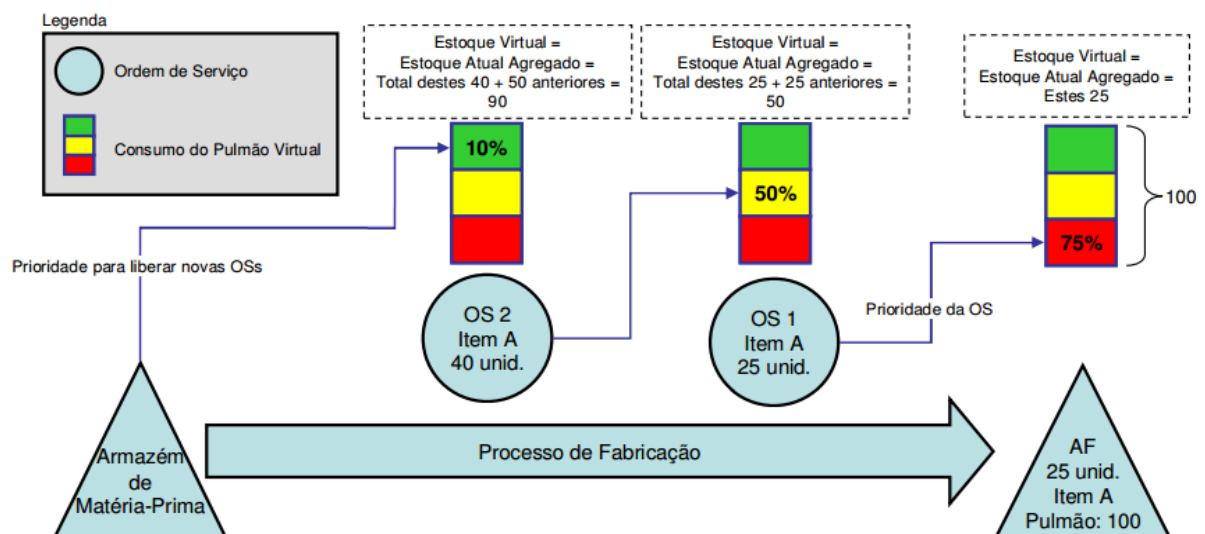
Na seção 2.5, os conceitos, algoritmos e parâmetros do DBM são abordados em maiores detalhes.

- **Passo 6: Definir as prioridades de produção conforme a urgência dos pulmões de estoque no armazém da fábrica ou armazém central**

O último passo da solução de distribuição e reposição puxada consiste em estabelecer um sistema de prioridades de acordo com as urgências dos pulmões de estoque no armazém da fábrica. Portanto, o melhor mecanismo para estabelecer essas prioridades é a PPV (SCHRAGENHEIM, A., 2013).

Seguindo o mesmo raciocínio apresentado na Figura 7, a Figura 8 mostra a utilização da PPV para o estabelecimento de prioridades na reposição. O tamanho do pulmão de estoque do armazém da fábrica para o item A é de 100 unidades, mas no momento ele possui apenas 25 disponíveis e ainda está aguardando a conclusão de duas ordens de serviço de 25 e 40 unidades. Sendo assim, a PPV do armazém da fábrica corresponde a 75% e o BS a 25%. A PPV da ordem de serviço 1 deve considerar o FGI do armazém da fábrica e a sua própria quantidade, resultando em uma PPV de 50%. A PPV da ordem de serviço 2 deve considerar a sua própria quantidade e a quantidade da ordem de serviço 1 somadas ao FGI do armazém da fábrica, resultando em uma PPV de 10% (SCHRAGENHEIM, A., 2013). Se uma nova ordem for emitida para reposição desse mesmo item A, seu tamanho deve ser igual à diferença entre o tamanho do TL e a quantidade de estoque atual no sistema, ou seja, 10 unidades com o seu *status* representado pela cor verde.

Figura 8 – Conceito de PPV aplicado na priorização de ordens de serviço



Fonte: Adaptado de Schragenheim, A. (2013)

O autor ainda explica que a medida de penetração demonstra que a produção está sincronizada com o uso atual do estoque e que a utilização do conceito de PPV fornece uma visão global do sistema, que alinha e sincroniza todos os elos de uma cadeia de suprimentos com a meta de um sistema de distribuição – responder rapidamente ao consumo atual dos estoques pelos consumidores ao longo da cadeia. Assim, quanto maior a PPV, maior é a urgência e a demanda por ações para apressar as reposições em todos os níveis da cadeia.

Segundo Goldratt (2013a), a solução de distribuição e reposição puxada impacta as vendas de duas formas. A primeira forma é direta, pois a reposição correta reduz consideravelmente as rupturas de estoque, e menos rupturas leva ao aumento das vendas. A segunda forma deve-se ao fato de que a reposição correta elimina o excesso de estoques de produtos de baixo giro, liberando espaço físico para a introdução de novos itens de alto giro e, conseqüentemente, aumentando as vendas.

## 2.5 GERENCIAMENTO DINÂMICO DO PULMÃO

De acordo com Goldratt e Goldratt (2003), a reposição de estoque com base no consumo real, a redução drástica do tempo de reposição por meio da minimização do TP e o aumento da frequência de reposição, são ações que contribuem para solucionar os efeitos indesejáveis presentes em cadeias de suprimentos que operam de modo empurrado e sob a orientação de previsões de vendas. Contudo, mudanças não previstas no comportamento da demanda podem exaurir rapidamente as reservas de estoque sem que o sistema tenha tempo hábil para reagir. Os autores indicam que os dados disponíveis sobre os estoques existentes em um determinado local e os comportamentos desses estoques em função do tempo são informações poderosas para guiar as decisões relacionadas à gestão de estoques.

Para Souza e Pires (2014), é necessário ter um correto *feedback* para o planejamento, mais precisamente no que diz respeito à definição do TL. Após definido o nível inicial de TL, a solução proposta pela TOC visa verificar se mesmo com eventuais mudanças na combinação entre tempo de reposição e demanda, os níveis-alvo iniciais continuam sendo adequados. São dois os alertas que podem ser fornecidos, um para quando nível de TL estiver muito alto e outro para quando o nível de TL estiver muito baixo (SCHRAGENHEIM, A., 2013).



O método que executa essas análises e verifica se o pulmão de estoque atual é robusto para atender a quantidade de estoque que entra (reposição) e que sai (demanda) e, se necessário, realiza ajustes em seu nível-alvo, é conhecido por DBM (SCHRAGENHEIM, A., 2013; COX III et al., 2012; SCHRAGENHEIM; DETTMER; PATTERSON, 2009).

Segundo Souza e Pires (2010), o método DBM complementa a solução de distribuição e reposição puxada da TOC, pois além das respostas rápidas para as demandas reais de mercado, o seu mecanismo permite elevar os níveis de TL quando o aumento da demanda é percebido. Dessa forma, mesmo que o sistema ainda esteja vulnerável a sofrer rupturas, elas poderão ocorrer em um intervalo de tempo muito pequeno e, conseqüentemente, as perdas de vendas devido à falta de estoque serão mínimas.

Schragenheim, Dettmer e Patterson (2009) alertam que os algoritmos do método DBM devem ser programados em um sistema informatizado para realização dos ajustes do TL, pois para um ambiente composto por muitos itens, seria enorme o número de julgamentos que um gestor responsável teria que fazer para determinar se um item possui o nível-alvo muito alto ou muito baixo. Schragenheim, A. (2013) pontua que ambientes que tenham até 500 pulmões de estoque podem ser geridos por meio de planilhas eletrônicas ou soluções elementares implementadas no sistema de informações atual. Em contrapartida, quando um ambiente lida com mais de 500 pulmões, é recomendável a aquisição de um *software* que seja totalmente concentrado em processos e tomadas de decisões baseados na TOC.

A indicação de que o TL atual para um determinado item é muito grande ocorre quando o nível de estoque em mãos ou FGI do armazém comparado com o seu TL, mantém-se muito alto por um tempo relativamente longo. Em termos de *status*, isso ocorre quando o pulmão permanece na região verde por um longo período. Tal situação é definida na literatura da TOC como Verde em Demasia (*Too Much Green* – TMG) (CHANG; CHANG; CHANG, 2017; CHANG; CHANG; SUN, 2015; SOUZA; PIRES, 2014, 2010; SCHRAGENHEIM, A., 2013; COX III et al., 2012; SCHRAGENHEIM; DETTMER; PATTERSON, 2009; GOLDRATT; GOLDRATT, 2003).

Goldratt e Goldratt (2003) ressaltam que o intervalo de tempo considerado como muito longo durante as análises depende do nível de serviço que se pretende disponibilizar. Esses autores, assim como Schragenheim, Dettmer e Patterson (2009)

e Souza e Pires (2010), orientam que se durante um período igual ao tempo médio de reposição o BS manter-se na região verde, o algoritmo deve registrar um TMG. Em alternativa, Schragenheim, A. (2013) e Cox III et al. (2012) estabelecem que o período de análise de frequência na região verde para um TMG deve ser de três tempos de reposição consecutivos.

Segundo Schragenheim, A. (2013), a situação TMG pode ser provocada pelos seguintes fatores:

- Redução da demanda;
- A velocidade da reposição aumentou;
- O TL inicial determinado era muito grande;
- Variação acentuada da demanda para baixo.

Quando os algoritmos do DBM estão ativos, sempre que houver um TMG, a técnica recomendará uma redução do nível do TL e o tamanho desse ajuste pode variar dependendo do parâmetro utilizado para o DBM. Normalmente, fatores como a velocidade desejada para a redução dos estoques, importância do item dentro do *mix* ofertado e o próprio local de estoque são considerados antes da definição da diminuição (CHANG; CHANG; CHANG, 2017; SCHRAGENHEIM, A., 2013).

Durante a pesquisa sobre o método DBM, mais precisamente com relação aos parâmetros de ajuste do nível de TL, notou-se que há um padrão recomendado na literatura para o tamanho desses ajustes tanto para cima, como para baixo, correspondendo a 33% do TL ou o próprio tamanho de uma região (CHANG; CHANG; CHANG, 2017; CHANG; CHANG; SUN, 2015; CHANG; CHANG; HUANG, 2014; SOUZA; PIRES, 2014, 2010; SCHRAGENHEIM, A., 2013, 2007; SCHRAGENHEIM, E., 2013b; COX III et al., 2012; SCHRAGENHEIM; DETTMER; PATTERSON, 2009; GOLDRATT; GOLDRATT, 2003). Ainda assim, Souza e Pires (2014) e Schragenheim, E. (2013b) sugerem ajustes mais modestos de 15% para reduções e 20% para aumentos, principalmente para ambientes de produção.

De forma semelhante ao TMG, um mecanismo é empregado para avaliar se o TL atual de um determinado item está muito baixo, oferecendo riscos para a disponibilidade. Assim, se o BS permanecer na região vermelha após um longo período, a TOC caracteriza essa situação como Vermelho em Demasia (*Too Much Red – TMR*) (CHANG; CHANG; CHANG, 2017; CHANG; CHANG; SUN, 2015; SOUZA; PIRES, 2014, 2010; SCHRAGENHEIM, A., 2013; COX III et al., 2012;

SCHRAGENHEIM; DETTMER; PATTERSON, 2009; GOLDRATT; GOLDRATT, 2003).

Para Goldratt e Goldratt (2003), se durante um período igual ao tempo médio de reposição o BS manter-se na região vermelha, então o algoritmo deve registrar um TMR. Do ponto de vista de Schragenheim, A. (2013) e Cox III et al. (2012), o período de análise de permanência na região vermelha para um TMR deve ser de três tempos de reposição consecutivos.

Existe na literatura um algoritmo alternativo e mais avançado para identificar a ocorrência de um TMR (SCHRAGENHEIM, A., 2013). De acordo com Schragenheim, Dettmer e Patterson (2009), se a quantidade total de invasões em unidades na região vermelha do pulmão durante um tempo médio de reposição for igual ou superior ao próprio tamanho da região vermelha, o algoritmo deve considerar a ocorrência de um TMR. Nesse caso, sempre que houver uma penetração na região vermelha, a profundidade dessa invasão deve ser registrada e considerada no cálculo de invasões dentro do tempo médio de reposição (SOUZA; PIRES, 2014).

A Figura 9 exemplifica o uso do algoritmo que considera o total de invasões na região vermelha para um item que possui um tempo médio de reposição de 15 dias e TL de 300 unidades. Nota-se que no período considerado ocorreram nove invasões na região vermelha e que a soma das profundidades dessas invasões apresentou um resultado menor do que o próprio tamanho da região vermelha (51). Logo, o algoritmo do DBM não identificou um TMR e nenhum ajuste do TL foi recomendado. Caso a soma das invasões na região vermelha tivesse apresentado um resultado igual ou superior a 100 unidades (tamanho da região vermelha, que corresponde a um terço do TL) dentro do período de 15 dias, então o DBM teria caracterizado a situação como um TMR.

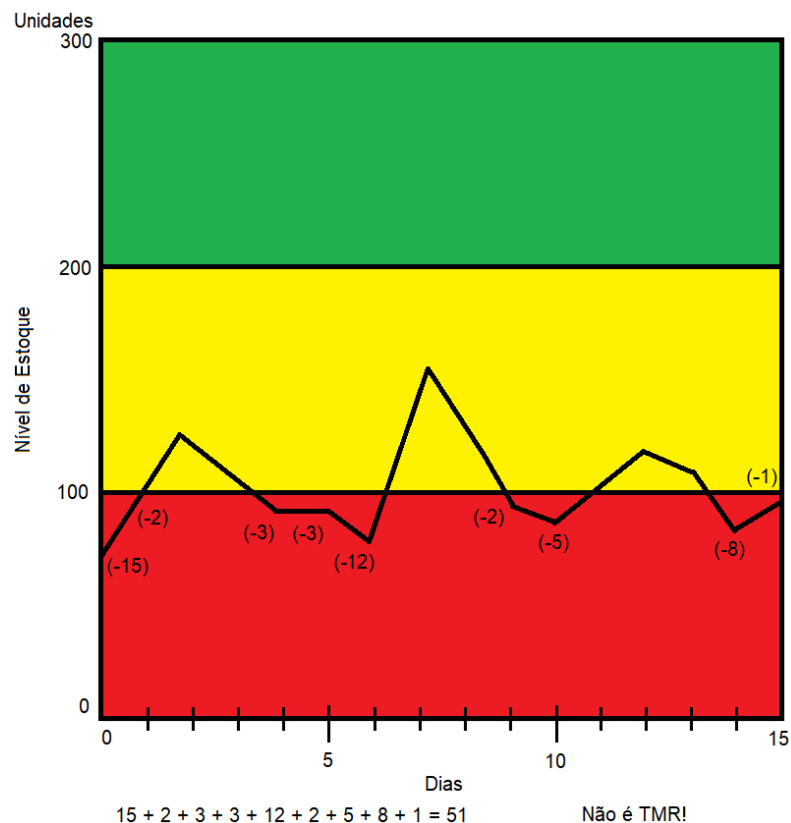
As causas para as ocorrências de TMR podem ser (SCHRAGENHEIM, A., 2013):

- Aumento da demanda;
- A velocidade da reposição diminuiu;
- O TL inicial determinado era muito pequeno;
- Variação acentuada da demanda para cima.

Como mencionado anteriormente, os ajustes do nível de TL para ocorrências de TMR podem ser de 20% ou 33% para cima.

A Figura 10 mostra a variação de estoque de um determinado produto em função do tempo cujo tempo de reposição é de 3 dias e as ordens de reposição são emitidas diariamente. Com o DBM ativo, segundo o algoritmo que executa as análises de permanência nas regiões verde e vermelha durante um período de reposição (3 dias) e parâmetros de ajuste de 33% para as ocorrências de TMG ou TMR, nota-se que a partir do primeiro dia, o pulmão de estoque vai sendo consumido e ao final do dia 4 ocorre a primeira reposição. Ainda no dia 4, o DBM registra a primeira invasão na região vermelha seguida da segunda e terceira nos dias subsequentes. Ao final do dia 6, o algoritmo confirma a permanência do BS na região vermelha durante um período completo de reposição e identifica um TMR. Nesse momento, o TL é aumentado em 33% e o pedido de reposição realizado no início do dia 7 considera a quantidade vendida no dia anterior somada ao aumento do pulmão, garantindo que mesmo com a mudança do nível-alvo, o TL permanecesse constante no sistema.

Figura 9 – Cálculo das invasões na região vermelha

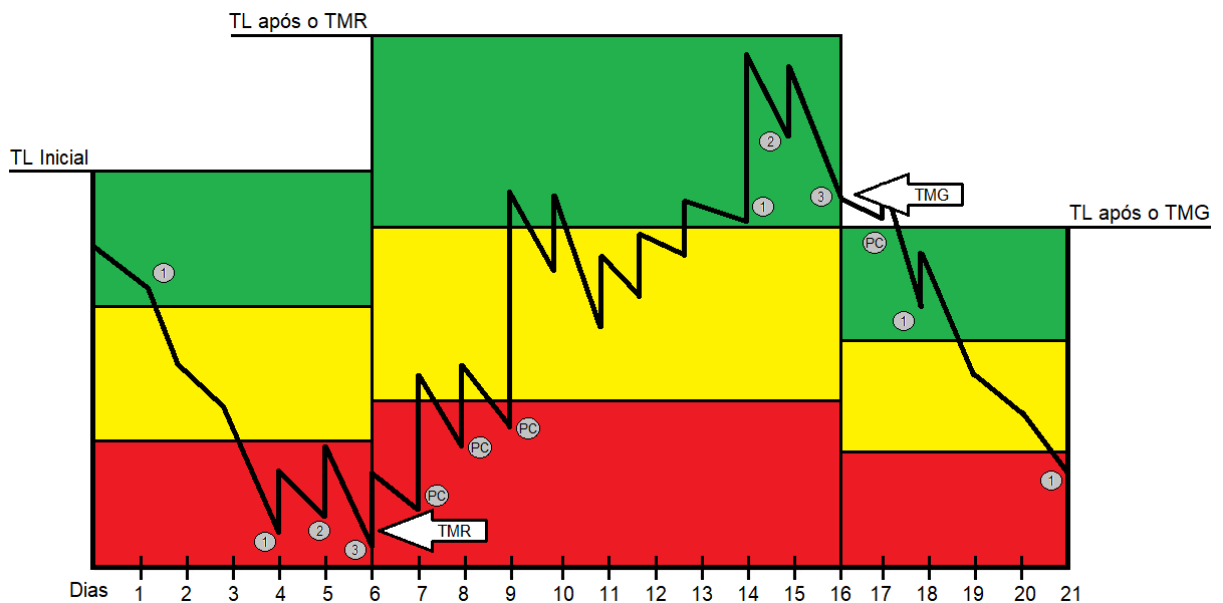


Fonte: Adaptado de Schragenheim, Dettmer e Patterson (2009)

Observa-se que ao final dos dias 7, 8 e 9 o BS também permanece na região vermelha, mas o algoritmo não realiza um novo aumento. Segundo Souza e Pires

(2014), o aumento do TL emite uma ordem de reposição que muito provavelmente deve equilibrar o sistema e por conta do aumento do nível-alvo, o BS do produto definitivamente estará na região vermelha. Portanto, deve-se aguardar a chegada da ordem de reposição que contém o aumento do TL para que novas análises de invasões na região vermelha sejam registradas. Essa ação recebe o nome de período de congelamento (SOUZA; PIRES, 2014; SCHRAGENHEIM, A., 2013).

Figura 10 – Funcionamento do DBM para TMR e TMG



Fonte: Adaptado de Goldratt e Goldratt (2003)

No exemplo da Figura 10, o período de congelamento é essencial para o desempenho do método, pois não houve necessidade do DBM realizar um novo aumento do TL para que o sistema se estabilizasse. Nos dias 14, 15 e 16, o algoritmo detecta a permanência do BS na região verde por três dias consecutivos, caracterizando um TMG, e imediatamente faz a redução do TL em 33%, exatamente o tamanho de uma região.

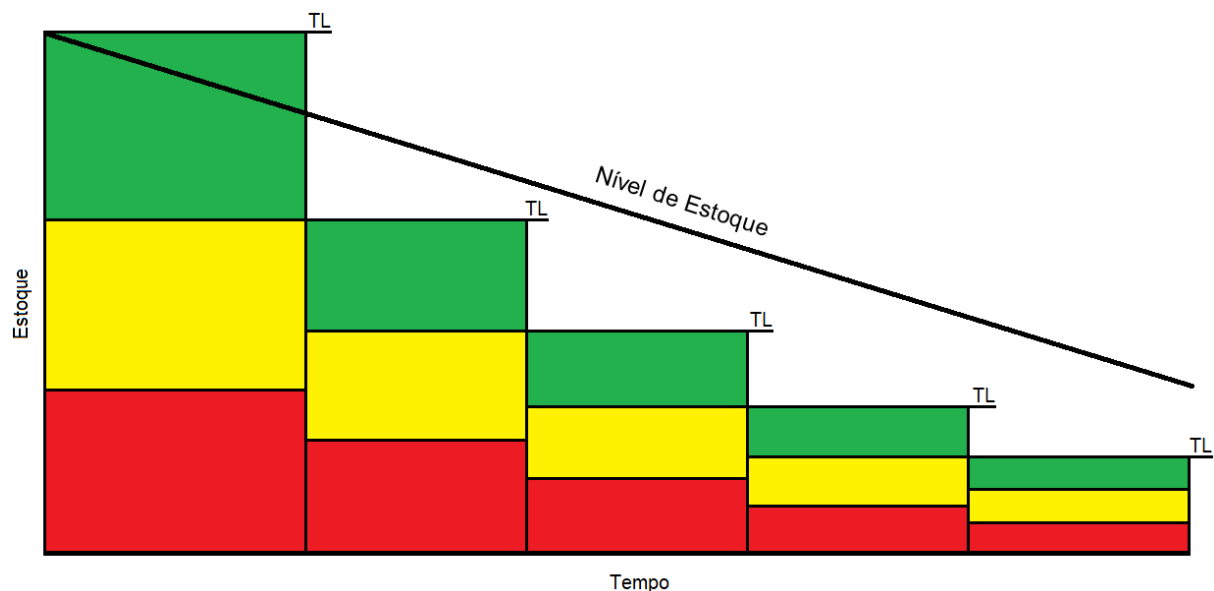
Nenhuma ordem de reposição é emitida no início dos dias 17 e 18, pois para esses dias, o FGI é superior ao novo TL.

Após um TMG, o sistema fica em período de congelamento enquanto o estoque real não estiver abaixo do novo TL. O período de congelamento para o TMG da Figura 10 tem duração de um dia, ocorrendo no final do dia 17 (SOUZA; PIRES, 2014; SCHRAGENHEIM, A., 2013).

A Figura 11 mostra a importância do período de congelamento quando o DBM identifica um TMG, pois se o algoritmo não aguardasse até que o FGI adentrasse na região verde antes de fazer novas verificações, constantes reduções do TL seriam efetuadas até que ele chegasse a um valor próximo de zero (GOLDRATT; GOLDRATT, 2003).

O Quadro 2 sintetiza os algoritmos e parâmetros de ajuste do TL para as condições de TMG e TMR do método DBM, de acordo como foram identificados na literatura.

Figura 11 – Importância do período de congelamento após um TMG



Fonte: Adaptado de Goldratt e Goldratt (2003)

### 2.5.1 Gerenciamento Dinâmico do Pulmão e as mudanças no comportamento da demanda

Segundo Schragenheim, A. (2013), o DBM é excelente em realizar o monitoramento e controle dos estoques quando a combinação entre oferta e demanda sofre mudanças gradativas ou imprevisíveis. No entanto, assim como qualquer outro mecanismo, ele também está propenso a falhar quando mudanças grandes e repentinas ocorrem no sistema.

A influência de uma variabilidade maior da demanda, sem que o seu comportamento médio seja alterado pode fazer com que o DBM recomende ajustes indevidos tanto para cima, como para baixo dos níveis de TL. O mesmo pode

acontecer devido a uma falta temporária de um produto em toda a cadeia de suprimentos ou por falhas na reposição, impactando na disponibilidade para os consumidores (SCHRAGENHEIM, E., 2013b). As regras do DBM foram fundamentadas justamente para não serem influenciadas pelas variações estatísticas dos sistemas e não recomendarem otimizações sob a influência de ruídos (SCHRAGENHEIM; DETTMER; PATTERSON, 2009).

Quadro 2 – Síntese dos algoritmos e parâmetros de ajuste do TL do DBM

Condição do DBM	Algoritmo de Gatilho (Quando?)	Referências dos Algoritmos	Parâmetro de Ajuste do TL (Quanto?)	Referências dos Parâmetros de Ajuste do TL
TMG	Permanência na região verde durante um período completo de reposição	Souza e Pires (2010); Schragenheim, Dettmer e Patterson (2009) e Goldratt e Goldratt (2003)	Redução de 33%	Chang, Chang e Chang (2017); Chang, Chang e Sun (2015); Chang, Chang e Huang (2014); Souza e Pires (2014, 2010); Schragenheim, A. (2013, 2007); Schragenheim, E. (2013b); Cox III et al. (2012); Schragenheim, Dettmer e Patterson (2009) e Goldratt e Goldratt (2003)
	Permanência na região verde durante três períodos completos de reposição consecutivos	Schragenheim, A. (2013) e Cox III et al. (2012)	Redução de 15%	Souza e Pires (2014) e Schragenheim, E. (2013b)
TMR	Permanência na região vermelha durante um período completo de reposição	Goldratt e Goldratt (2003)	Aumento de 33%	Chang, Chang e Chang (2017); Chang, Chang e Sun (2015); Chang, Chang e Huang (2014); Souza e Pires (2014, 2010); Schragenheim, A. (2013, 2007); Schragenheim, E. (2013b); Cox III et al. (2012); Schragenheim, Dettmer e Patterson (2009) e Goldratt e Goldratt (2003)
	Permanência na região vermelha durante três períodos completos de reposição consecutivos	Schragenheim, A. (2013) e Cox III et al. (2012)	Aumento de 20%	Souza e Pires (2014) e Schragenheim, E. (2013b)
	Total de invasões na região vermelha durante um período completo de reposição for igual ao próprio tamanho da região vermelha	Souza e Pires (2014) e Schragenheim, Dettmer e Patterson (2009)		

Fonte: Autor (2018)

Quando as mudanças da combinação de oferta e demanda forem gradativas, por exemplo, os efeitos de sazonalidades, não importa se elas sejam previsíveis ou imprevisíveis, o método DBM deve ser altamente empregado para evitar erros e permitir que gestores focalizem as exceções (SCHRAGENHEIM, A., 2013).

Quando as mudanças forem grandes e imprevisíveis, o DBM pode contribuir por meio da detecção de TMG ou TMR, mas a definição do quanto ajustar um TL perante a essas mudanças deve ser uma decisão manual dos gestores (SCHRAGENHEIM, A., 2013).

Quando as mudanças forem grandes e previsíveis, por exemplo, promoções ou descontinuações de produtos, o DBM deve ser desativado durante um tempo após a decisão manual de ajustar o nível do TL de um item. Isso se faz necessário, pois a antecipação de uma alta demanda que ainda esteja por vir, faria com que o algoritmo indicasse por diversas vezes ocorrências de TMG, recomendando a redução do TL. Para casos de descontinuações de produtos, o ajuste para baixo do TL deve ocorrer antes da indicação do DBM, evitando futuras reposições mesmo com a diminuição das vendas (SCHRAGENHEIM; DETTMER; PATTERSON, 2009).



### 3 MÉTODO DE PESQUISA

Esta pesquisa aplicada adota o método de simulação, que segundo Davis, Eisenhardt e Bingham (2007), trata-se de um método cada vez mais proeminente para o desenvolvimento de novas teorias ou especificar e ampliar o conhecimento sobre teorias já existentes. Em congruência, Banks et al. (2004) ressaltam que uma vez desenvolvido e validado, um modelo de simulação é capaz de investigar uma grande variedade de questões “e se” sobre os sistemas reais. Sendo assim, a simulação propiciou a resposta para a questão do problema identificado para esta dissertação, visto que, por meio da modelagem dos algoritmos do método Gerenciamento Dinâmico do Pulmão (*Dynamic Buffer Management – DBM*) e a combinação de seus parâmetros foi possível medir o seu desempenho segundo os indicadores e cenários definidos.

#### 3.1 SELEÇÃO DO SOFTWARE DE SIMULAÇÃO

Após definido o método de pesquisa, o próximo passo foi a escolha do *software* de simulação para a construção do modelo e execução dos experimentos.

O *software* selecionado para esta pesquisa foi o ProModel, desenvolvido pela empresa ProModel Corporation (PROMODEL CORPORATION, 2015). O ProModel é um *software* prepotente classificado como uma ferramenta de fácil utilização capaz de simular todos os tipos de sistemas, processos e suas aleatoriedades inerentes (CIMINO; LONGO; MIRABELLI, 2010; LU; WONG, 2007). Ele atua como um facilitador na condução dos experimentos, permitindo múltiplas replicações, cálculo automático de dados e disponibilização dos resultados de modo personalizado (SANDANAYAKE; ODUOZA; PROVERBS, 2008).

De acordo com Cimino, Longo e Mirabelli (2010), o ProModel se destaca por fornecer aos seus usuários uma interface simples e gráfica para a criação dos modelos sem que seja preciso habilidades em programação, ao passo que facilita o processo de modelagem, permitindo a construção em módulos. Ele é capaz de executar os experimentos com grandes quantidades de replicações de forma rápida e possui diversas opções para análises de resultados, seja por meio do *software* Output Viewer embutido nele ou por exportações de planilhas para o programa Microsoft Excel (PROMODEL CORPORATION, 2015).

### 3.2 SELEÇÃO DAS MEDIDAS DE DESEMPENHO

Medidas de desempenho são utilizadas pelas organizações para que elas identifiquem oportunidades e conduzam os seus esforços para o aumento da competitividade (LARSEN; THORSTENSON, 2014; CLOSS; NYAGA; VOSS, 2010). O desempenho de uma cadeia de suprimentos é mensurado tanto pela redução dos custos, como pelo nível de serviço oferecido aos clientes (JANSSENS; RAMAEKERS, 2011; JAMMERNEGG; REINER, 2007). Em vista disso, um modelo eficiente de gestão de estoques tem como propósito a minimização dos custos ou a maximização do lucro enquanto satisfaz as demandas dos consumidores (KOUUMANAKOS, 2008). Para Zeng e Hayya (1999), independentemente do ramo de uma empresa, a efetividade da gestão de estoques baseia-se em três pilares: custo relevante total, nível de serviço e taxa de rotatividade de estoque.

O custo relevante total está relacionado com os gastos para emissões de pedidos e manutenção dos estoques; o nível de serviço é utilizado para verificar se a demanda dos consumidores está sendo atendida no prazo; e a taxa de rotatividade de estoque mensura a eficiência da utilização dos estoques (ZENG; HAYYA, 1999).

Foram selecionadas três medidas de desempenho para mensuração da efetividade dos parâmetros do DBM em cada tratamento: Estoque Médio no Sistema, como indicação aproximada do custo relevante total no modelo; *Fill Rate* como indicador de nível de serviço; e Rotatividade por Atendimento Imediato da Demanda, medindo a taxa de rotatividade de estoque. Cada uma das medidas de desempenho selecionadas podem ser assim definidas:

- Estoque Médio no Sistema (EMS): A quantidade de estoque está diretamente relacionada com o fluxo de caixa e espaço físico do ambiente. Níveis altos de EMS provocam aumento nos custos, enquanto níveis baixos de EMS podem afetar a disponibilidade e colocar em risco o atendimento imediato da demanda (SCHRAGENHEIM, A., 2013, 2007; KLEIJNEN; SMITS, 2003). O EMS é calculado como a média diária da soma entre o estoque em mãos ou FGI do armazém e o estoque em trânsito, conforme a Equação 2:

$$EMS = \frac{\sum_{i=1}^N ES_i}{N} \quad (2)$$

Em que:

ES<sub>i</sub> é o estoque no sistema no final do dia *i*, representado pela soma entre o FGI do armazém e o estoque em trânsito.

N é o número de dias decorridos de simulação.

- *Fill Rate* (FR): Medida importante de nível de serviço e frequentemente utilizada na avaliação de desempenho da gestão de estoques em cadeias de suprimentos. É representada pela porcentagem da demanda gerada atendida no prazo e imediatamente a partir dos estoques, assim como mostra a Equação 3 (LARSEN; THORSTENSON, 2014; KLEIJNEN; SMITS, 2003; SONG, 1998):

$$FR = \frac{\sum_{i=1}^N DAP_i}{\sum_{i=1}^N DG_i} \quad (3)$$

Em que:

DAP<sub>i</sub> é a demanda atendida no prazo a partir dos estoques no dia *i*.

DG<sub>i</sub> é a demanda gerada no dia *i*.

- Rotatividade por Atendimento Imediato da Demanda (RAID): A rotatividade ou giro de estoque é uma medida para avaliar a eficiência ao longo do tempo ou comparar o desempenho do estoque entre empresas. Normalmente, é calculada por meio da razão entre o custo de mercadorias vendidas e o custo médio de estoque (HANÇERLIOĞULLARI; ŞEN; AKTUNÇ, 2016; GAUR; FISHER; RAMAN, 2005). Nesta pesquisa, o indicador RAID é calculado pela quantidade da demanda atendida no prazo dividida pelo EMS no período simulado, de acordo com a Equação 4:

$$RAID = \frac{\sum_{i=1}^N DAP_i}{EMS} \quad (4)$$

Em que:

DAP<sub>i</sub> é a demanda atendida no prazo a partir dos estoques no dia *i*.

### 3.3 DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE SIMULAÇÃO

A pesquisa se baseou nos métodos de simulação propostos por Bateman et al. (2013) e Harrell, Ghosh e Bowden (2000), autores de livros conceituados sobre simulação com ênfase no *software* ProModel. Os passos seguidos pela pesquisa foram:

1. Definição do problema;
2. Definição dos objetivos;
3. Formulação e planejamento do modelo;
4. Desenvolvimento do modelo computacional;
5. Verificação do modelo;
6. Planejamento da simulação e execução dos experimentos;
7. Análise dos resultados

O problema e os objetivos desta pesquisa foram definidos no Capítulo 1. Portanto, essa seção aborda as etapas do método de pesquisa a partir do passo 3.

#### 3.3.1 Formulação e planejamento do modelo

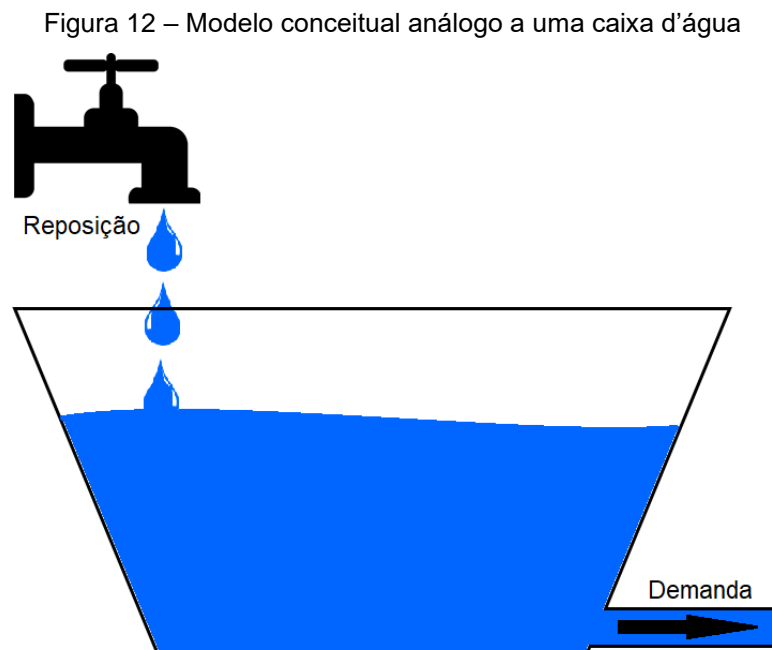
De acordo com o problema de pesquisa e os objetivos formulados, o modelo deve representar um ambiente que adote a solução de distribuição e reposição puxada da Teoria das Restrições (*Theory of Constraints – TOC*). Na seção 2.4, foi abordado como a TOC pode ser aplicada em cadeia de suprimentos e, portanto, quando implementada de modo holístico, todos os elos de uma cadeia de suprimentos, do fornecedor de matéria-prima ao ponto de venda, passam a utilizar os conceitos da solução da TOC.

Como um recorte à pesquisa, o elo da cadeia de suprimentos selecionado para realizar esse estudo foi o ponto de venda ou varejista. A justificativa por selecioná-lo é que de acordo com a Figura 4, a distribuição da demanda no varejo é a que apresenta a maior variação e, por conta disso, é a posição na cadeia de suprimentos mais difícil de se trabalhar com métodos de previsões de vendas (SCHRAGENHEIM, A., 2013; SCHRAGENHEIM; DETTMER; PATTERSON, 2009). Logo, a simulação do método DBM para apoiar as tomadas de decisões nesse ambiente mostrou-se mais adequada.

O modelo conceitual desta pesquisa foi gerado em analogia a uma caixa d'água, conforme a Figura 12, assim como foi feito de forma semelhante em Holweg et al. (2005). Ao assumir que o tamanho da caixa d'água fosse o espaço do ponto de venda para um determinado item, que a válvula fosse o armazém regional e que o fluxo de água representasse a combinação entre a reposição e a demanda, foi possível estabelecer como o modelo deveria se comportar em sua forma mais simples.

Do ponto de vista da demanda, determinou-se que no final de cada dia haveria uma única saída de produtos do estoque que representasse a soma de todos os pedidos processados durante o dia, com cada dia do modelo correspondendo a 8 horas de simulação e o local do varejo operando 7 dias por semana.

Em relação à reposição, no início de cada dia, o sistema verificava o estoque de produtos acabados (*Finished Goods Inventory* – FGI) e a quantidade de estoque que estava em trânsito, fazendo a soma desses estoques. Se a soma fosse menor que o Estoque Alvo (*Target Level* – TL) do ponto de venda naquele momento, automaticamente era emitido um pedido de reposição com o tamanho exato da diferença entre o TL e a soma dos estoques (FGI e estoque em trânsito).



Fonte: Autor (2018)

Se a demanda fosse superior ao FGI do ponto de venda, o modelo atendia de imediato aquilo que fosse possível, registrava a quantidade não atendida e fazia a soma dela com a demanda gerada no dia seguinte. Portanto, uma das premissas do

modelo é que não há perda de vendas, mas o efeito dos pedidos não atendidos imediatamente influenciavam diretamente na performance do sistema com relação às medidas de desempenho *Fill Rate* (FR) e Rotatividade por Atendimento Imediato da Demanda (RAID).

A etapa seguinte consistiu na transformação dos conceitos do método DBM, fundamentados na seção 2.5 e sintetizados no Quadro 2, em estruturas lógicas de fluxogramas segundo seus algoritmos e parâmetros.

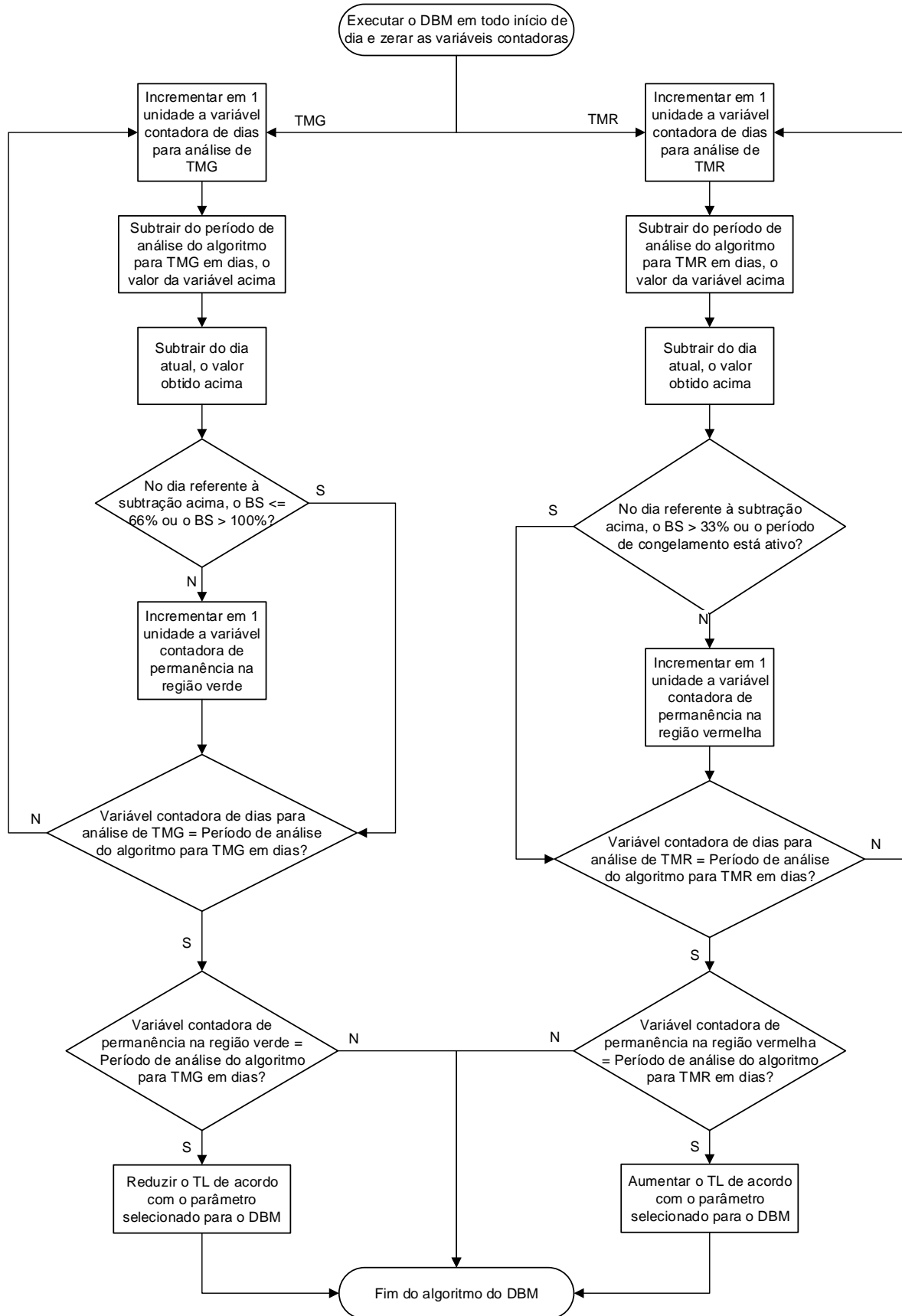
Bateman et al. (2013) salientam que o uso de croquis ou desenhos de *layout* do sistema a ser estudado proporciona as seguintes vantagens:

- Os desenhos refletem a visão do nível geral de detalhes necessário para o modelo e servem constantemente como referência;
- As representações gráficas contribuem por garantir a coleta sistemática de dados essenciais para cada local ou recurso;
- Uma estrutura lógica que facilite o entendimento dos fluxos e interações auxilia no entendimento do sistema;
- Quando o percurso é uma variável relevante no modelo, um desenho de *layout* pode agregar um valor imenso na determinação dos padrões de movimentos.

As Figuras 13 e 14 mostram os dois algoritmos do DBM por meio de fluxogramas. Observa-se que a identificação de um Verde em Demasia (*Too Much Green* – TMG) é igual para ambos e a diferença está no modo como o sistema determina uma situação Vermelho em Demasia (*Too Much Red* – TMR).

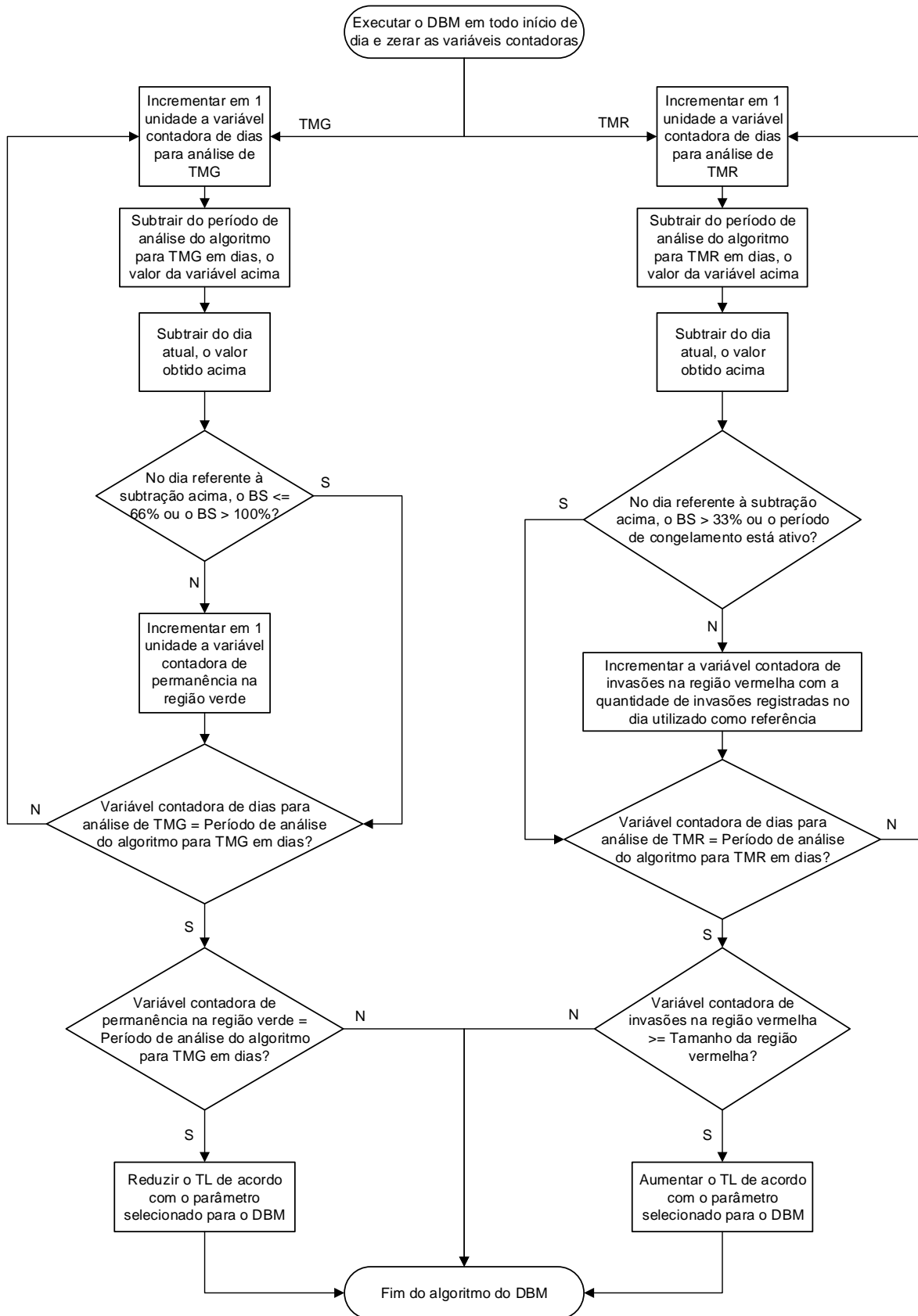
Tanto as análises de permanência nas regiões, como a contagem de invasões na região vermelha do pulmão durante um período completo de reposição, são realizadas considerando o dia do estado atual de simulação para trás. Portanto, as decisões do DBM são tomadas no início dos dias conforme as ocorrências registradas no passado durante os períodos de análises parametrizados nos algoritmos para TMG e TMR.

Figura 13 – Fluxograma do DBM para permanência nas regiões para TMG e TMR



Fonte: Autor (2018)

Figura 14 – Fluxograma do DBM para permanência na região para TMG e contagem de invasões para TMR



Fonte: Autor (2018)



### 3.3.2 Desenvolvimento do modelo computacional

Nessa etapa, o modelo conceitual foi traduzido por meio do uso de locais, entidades, variáveis, matrizes e linhas de código de programação em um modelo lógico implementado no *software* ProModel.

De acordo com Bateman et al. (2013), no início da codificação do modelo computadorizado, o modelador deve pensar abstratamente em conceitos dos sistemas do mundo real para que haja coerência entre a estrutura do modelo que está sendo desenvolvido e a ferramenta de modelagem.

A principal dificuldade nesse passo foi modelar um local, nesse caso, o ponto de venda, que mantém as entidades que chegam até ele e as libera segundo um pedido que entra no sistema com a solicitação de uma quantidade determinada de entidades.

Modelos que simulam sistemas de produção normalmente não se comportam desse modo, pois as entidades, em geral, chegam individualmente nos locais, são processadas e roteadas para o próximo local ou saída do sistema assim que finalizadas. Portanto, não são estocadas e também não são expedidas em quantidades definidas por outra entidade.

Essa dificuldade foi suprimida com o uso combinado das regras de roteamento *Send* e *Join*. Elas permitem que uma quantidade definida de entidades sejam enviadas de um local para outro a partir de um pedido e se juntem em uma única entidade que encontrará com o pedido antes de deixar o sistema (PROMODEL, 2015). No ambiente simulado, isso funciona como se um pedido chegasse ao sistema e disparasse para o setor de estoque a quantidade a ser enviada para uma operação de consolidação dos produtos solicitados. Em seguida, os produtos são entregues na área de expedição ao se encontrarem com o pedido. No Apêndice A está o código completo do modelo computacional para o tratamento A-1.

### 3.3.3 Verificação do modelo

A verificação dos modelos é uma das etapas mais difíceis e importantes para um projeto de modelagem e simulação, pois ela deve assegurar que o modelo conceitual está sendo refletido precisamente pelo modelo computacional. O processo

de construção de um modelo não é linear e, por isso, desde o início do desenvolvimento do modelo computacional, a verificação pode ocorrer simultaneamente (BANKS et al., 2004).

Durante a verificação, erros não intencionais inerentes aos dados ou à lógica de programação devem ser detectados e eliminados, pois ao final desse passo, o modelo deve estar livre de defeitos (HARRELL; GHOSH; BOWDEN, 2000).

Segundo Harrell, Ghosh e Bowden (2000), os erros em um modelo de simulação podem ser classificados em dois tipos: erros sintáticos e erros semânticos. Erros sintáticos são como erros gramaticais e incluem a adição, omissão ou mal posicionamento não intencional de notações que fazem com que o modelo não seja executado corretamente. O ProModel identifica os erros sintáticos, mostrando em quais linhas do código eles aparecem. Erros semânticos estão associados com a lógica de programação e causam um comportamento diferente do que era esperado para o modelo. Esse tipo de erro não impede a execução da simulação no ProModel, logo, quando aparece, é difícil de ser detectado.

Bateman et al. (2013) recomendam algumas ferramentas úteis no processo de verificação de um modelo: estudo da animação do modelo em velocidade suficientemente baixa para análise de fluxo do sistema, plotagem e monitoramento de variáveis em tempo real na tela de animação, análise da estrutura do modelo por outro modelador, comparação das saídas entre os modelos computacionais e modelos analíticos, teste de respostas do modelo submetido a diferentes cenários e rastreamento por meio de um arquivo gerado pelo *software* com os detalhes de cada transação do sistema.

Quando o modelo computacional começou a ser criado, diversos erros de sintaxe foram identificados pelo ProModel conforme o código de programação avançava. Essa dificuldade era esperada com maior intensidade no início da modelagem devido à baixa familiaridade com o *software* e suas diversas ferramentas.

A tarefa mais árdua e que consumiu mais tempo durante o processo de verificação, assim como a literatura aponta, foi a busca por erros semânticos. Como a implementação do método DBM no modelo ocorreu por meio de diversas combinações de declarações estruturadas de controle do tipo “*if-then-else*” e “*while...do*”, ao analisar as animações e compará-las com o fluxo dos modelos conceituais, bem como monitorar as variáveis e verificar as respostas do modelo para vários cenários e situações específicas do DBM (TMG, TMR e períodos de

congelamento) em planilhas eletrônicas exportadas do ProModel, diversos pontos de correções e oportunidades de melhoria foram identificados até que o modelo se comportasse como deveria.

Por não representar um sistema real com dados empíricos extraídos sobre as informações de demanda, níveis de estoque, capacidades e tempo de reposição, não foi possível realizar o processo de validação. Em contrapartida, Harrell, Ghosh e Bowden (2000) mencionam que nesse caso, o modelo deve ser cuidadosamente verificado para garantir que ele reflita exatamente o que era esperado.

### 3.3.4 Planejamento da simulação e execução dos experimentos

Nessa etapa, são apresentadas as informações gerais da simulação, como a demanda, o tempo de reposição, período de aquecimento (*warm-up period*), quantidade de replicações, o conjunto de algoritmos e parâmetros combinados do DBM e os quatro cenários em que o conjunto foi simulado.

- **Demanda e tempo de reposição**

Todos os experimentos foram executados por meio de simulações estocásticas e os dados foram obtidos por meio de determinadas distribuições de probabilidade. O ProModel oferece um portfólio dessas distribuições de probabilidade que podem ser facilmente inseridas no modelo com poucos parâmetros conhecidos, como média e desvio padrão.

Os dados de demanda e de tempo de reposição foram gerados pelo ProModel com o uso da distribuição log-normal. A log-normal foi escolhida por se tratar de uma distribuição assimétrica com a cauda mais longa à direita e que também não considera valores negativos (BECKER et al., 2013; HUANG, 2013; HSIEH; LU, 2010). Dessa forma, ela pôde ser eficiente na representação dessas duas variáveis.

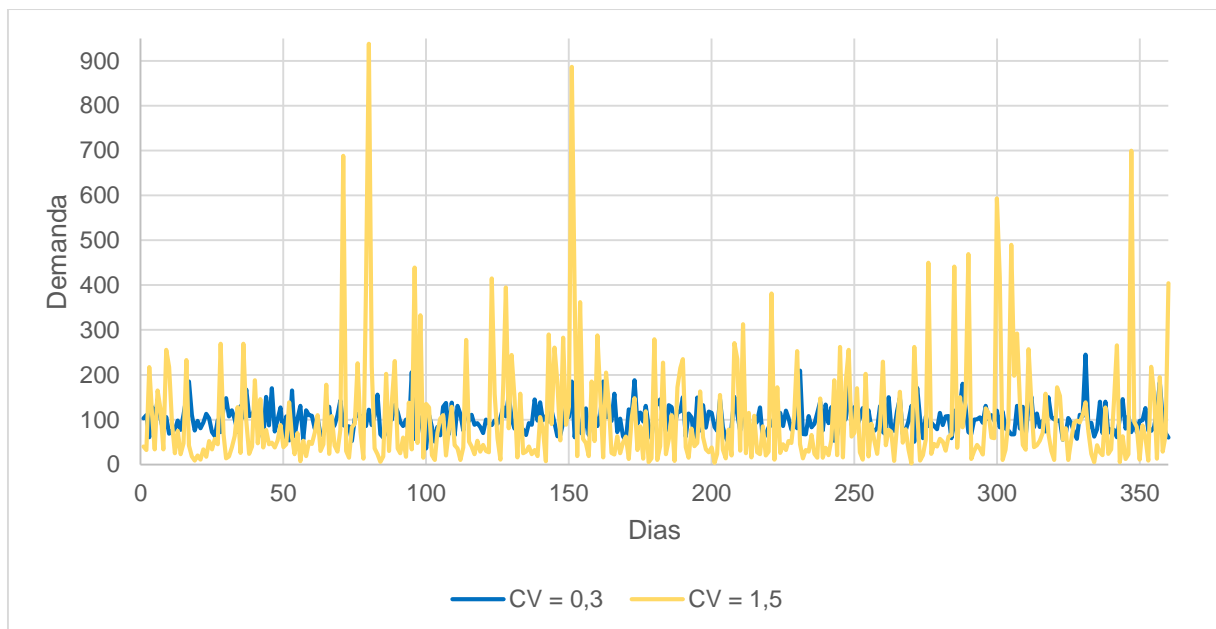
O desvio padrão das distribuições foi definido em termos de medida de dispersão relativa por meio do coeficiente de variação (CV). Essa medida é calculada como a razão entre o desvio padrão ( $s$ ) e a média aritmética ( $\bar{x}$ ), conforme a Equação 5:

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} \quad (5)$$

Logo, para uma distribuição com CV igual a 1, por exemplo, significa que o desvio padrão utilizado é igual à média da distribuição.

Para as simulações dos quatro cenários, a demanda média diária inicial foi definida como 100 unidades. Em dois cenários, a média da demanda se manteve constante (sem tendência) durante todo o período simulado, 360 dias, variando apenas o nível do CV entre os cenários, o primeiro com um CV baixo de 0,3 e o segundo com um CV alto de 1,5 (HOPP; SPEARMAN, 2000). A Figura 15 mostra a diferença entre as demandas geradas para esses dois cenários e o efeito da variabilidade para os números gerados pela distribuição de probabilidade log-normal.

Figura 15 – Gráficos das demandas geradas para a demanda média sem tendência com dois níveis de CV



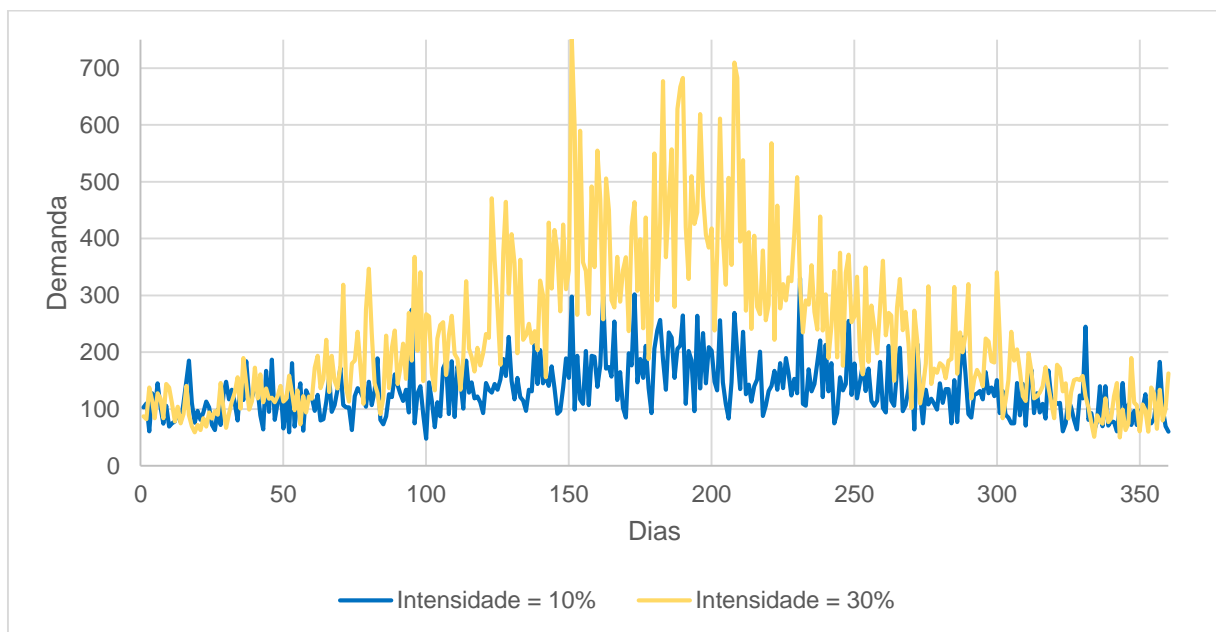
Fonte: Autor (2018)

Para os dois últimos cenários, o CV baixo de 0,3 se manteve constante e as médias das demandas sofreram alterações em intervalos de 30 dias de simulação (tendência sazonal) (HOPP; SPEARMAN, 2000). O objetivo desses cenários com variações da demanda média é de simular o comportamento do DBM em ambientes influenciados pela sazonalidade. Assim, dentro de um período total de 360 dias ou ainda, 12 meses, o primeiro cenário sofreu seis aumentos consecutivos de 10% e cinco reduções consecutivas de 10,8%, enquanto o segundo cenário sofreu seis aumentos consecutivos de 30% e cinco reduções consecutivas de 27%. A Figura 16

mostra a diferença entre as demandas geradas para esses dois cenários e o efeito da intensidade de variação das médias das demandas para os números gerados pela distribuição de probabilidade log-normal.

As cinco reduções dos dois últimos cenários foram determinadas para que as médias das demandas retornassem ao valor inicial de 100 unidades durante os últimos 30 dias ou último mês de simulação.

Figura 16 – Gráficos das demandas geradas para a demanda média com tendência sazonal com dois níveis de intensidade



Fonte: Autor (2018)

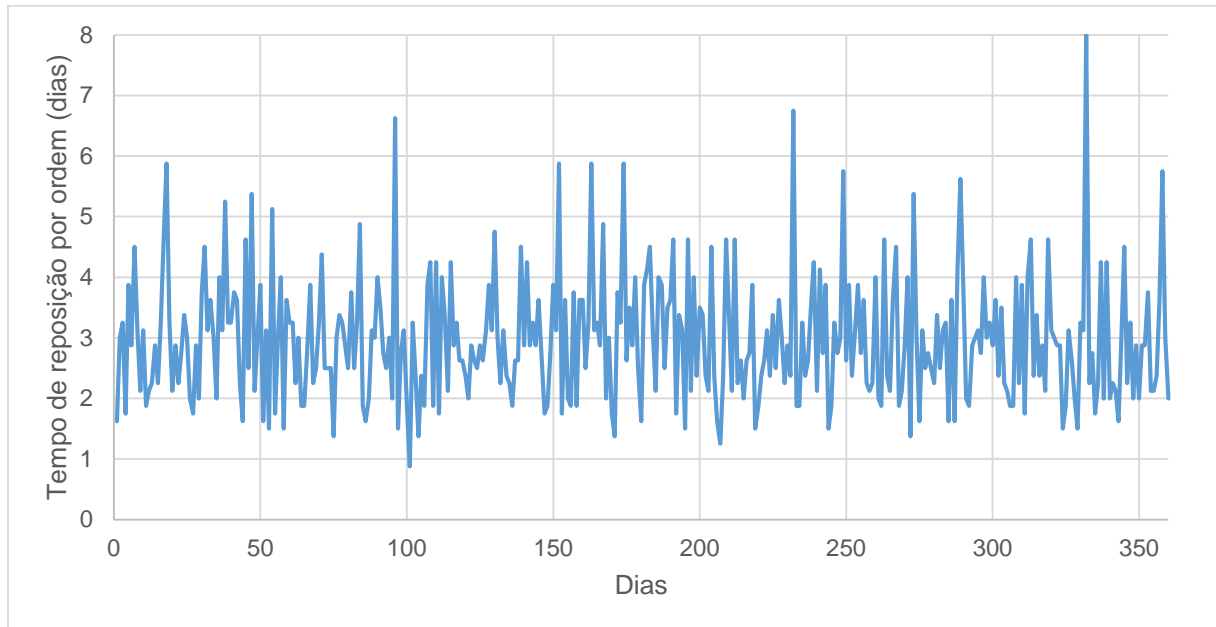
Para todos os experimentos, o tempo médio de reposição foi definido como sendo de 3 dias e CV igual a 0,33. Portanto, o desvio padrão assumido para a distribuição log-normal do tempo de reposição foi de 1 dia. A Figura 17 mostra a variação do tempo de reposição de cada ordem solicitada diariamente pelo ponto de venda.

- **Período de aquecimento**

As simulações realizadas para esta dissertação são classificadas como *steady-state* ou *nonterminating*, pois as análises dos sistemas foram realizadas independente das condições iniciais do modelo (BATEMAN et al., 2013; HARRELL; GHOSH; BOWDEN, 2000). Para cada replicação dos experimentos, o modelo atuou durante 460 dias, sendo 8 horas por dia. Os dados dos 100 primeiros dias não foram

considerados pelos cálculos estatísticos e no final do período entre os dias 101 e 460, os indicadores definidos foram extraídos como resultados.

Figura 17 – Gráfico da variação do tempo de reposição para cada ordem solicitada diariamente



Fonte: Autor (2018)

O intervalo de tempo em que o sistema não computa os dados para os cálculos dos indicadores é chamado de período de aquecimento (*warm-up period*). Esse período se faz necessário para eliminar os vestígios decorrentes do início da simulação (BATEMAN et al., 2013).

Para todos os experimentos realizados, o estoque inicial no ponto de venda era equivalente ao TL e, portanto, não havia estoque em trânsito no primeiro dia de simulação. Como o tempo médio de reposição era de 3 dias e o primeiro pedido de reposição era feito no início do dia 2, apenas 3 dias, em média, após a emissão do primeiro pedido é que ocorria o primeiro reabastecimento do ponto de venda, ou seja, no início do dia 5. Portanto, para garantir a estabilidade do modelo no momento em que o seu desempenho estava sendo mensurado, foram considerados 100 dias de período de aquecimento.

- **Quantidade de replicações**

Em experimentos de simulações, uma rodada de simulação constitui uma replicação e o produto de uma replicação exclusiva é uma amostra unitária. Logo,

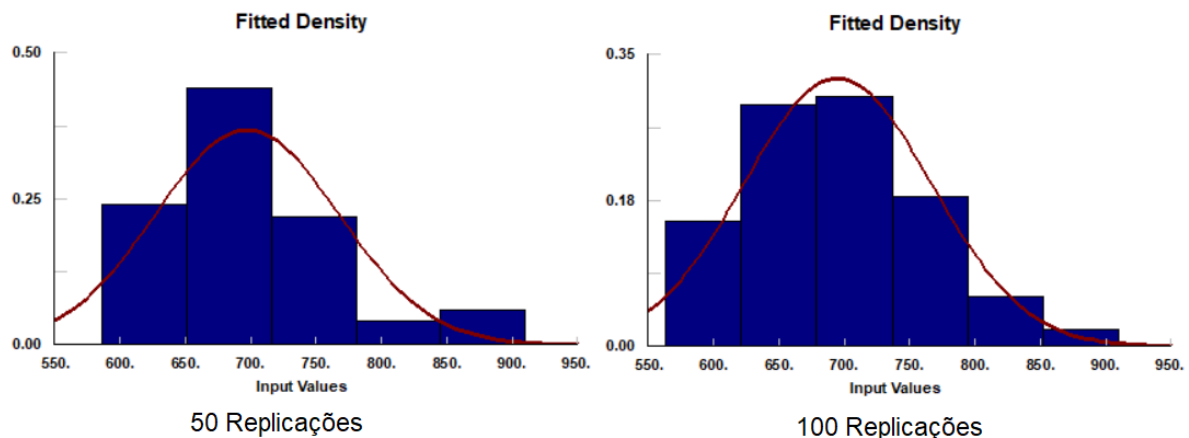
múltiplas replicações são necessárias para proporcionar a análise dos resultados (BATEMAN et al., 2013; HARRELL; GHOSH; BOWDEN, 2000).

O mesmo ciclo de números aleatórios foi utilizado para todos os experimentos desta pesquisa. Assim, as sequências dos dados de demanda gerada e tempo de reposição são iguais para todos os tratamentos de um mesmo cenário, caracterizando as unidades experimentais como homogêneas (BATEMAN et al., 2013).

Os primeiros experimentos foram replicados 50 vezes. No entanto, ao analisar a normalidade dos resultados, notou-se que mesmo para um número considerável de replicações, algumas amostras não se adequaram com uma distribuição normal e foram rejeitadas pelo *software* Stat::Fit, pertencente ao ProModel. Então, o número de replicações foi aumentado para 100, que é o limite máximo suportado pelo *software*.

A Figura 18 mostra a comparação entre as distribuições das amostras para 50 e 100 replicações do indicador EMS para o tratamento 5 do cenário B (B-5). A melhoria obtida com a adequação dos dados da amostra com uma distribuição normal é notável.

Figura 18 – Comparação entre distribuições para 50 e 100 replicações dos experimentos



Fonte: Autor (2018)

- **Conjunto de algoritmos e parâmetros combinados do DBM**

De acordo com o Quadro 2, os dois algoritmos que identificam quando o DBM deve considerar uma situação como TMG foram combinados com os três algoritmos do TMR, resultando em seis combinações. Em relação aos parâmetros de ajuste do TL, o aumento de 20% para TMR, sugerido por Souza e Pires (2014) e Schragenheim, E. (2013b), foi substituído por um aumento de 15%, ficando idêntico ao ajuste mais

conservador do TMG identificado na literatura. Essa modificação foi feita para testar um parâmetro mais cauteloso de ajuste de TL para TMR em alguns tratamentos.

A combinação dos parâmetros de ajuste do TL resultou em quatro opções possíveis. Assim, as combinações resultantes entre os algoritmos e os parâmetros de ajuste do TL foram de vinte e quatro arranjos.

Complementarmente, foram inseridos mais três tratamentos que utilizam a lógica de reposição puxada da TOC, mas que não aplicam a técnica do DBM. Dessa forma, o TL se manteve fixo durante todo o período simulado. A diferença entre esses três tratamentos adicionais está no nível de TL de cada um.

O TL inicial para os vinte e quatro arranjos e para um dos tratamentos adicionais foi calculado como a demanda média (100 unidades) dentro do tempo médio de reposição (3 dias), ajustado por um fator de segurança de 100%. Logo, o TL inicial para vinte e cinco tratamentos corresponde a 600 unidades. Para os dois últimos tratamentos com o DBM desativado, foram utilizados fatores de segurança de 50% e 200% para o cálculo do TL, resultando em 450 e 900 unidades.

A Tabela 2 sintetiza os dados dos vinte e sete tratamentos que formam o conjunto de algoritmos e parâmetros combinados do DBM.

- **Definição dos cenários para simulação**

Conforme os comportamentos e variabilidades das demandas apresentados anteriormente, foram definidos quatro cenários para a execução dos experimentos com o intuito de verificar quais tratamentos com combinações do método DBM oferecem melhores desempenhos, segundo os indicadores selecionados, para cada caso.

Ao todo, foram executados vinte e sete experimentos para cada cenário, totalizando cento e oito simulações com 100 replicações cada uma. A Tabela 3 sumariza os dados dos quatro cenários analisados.

Quando o texto ou qualquer outro elemento desta dissertação fizer referência a um tratamento específico de um determinado cenário, a notação utilizada possui a letra que identifica o cenário, conforme a Tabela 3, seguida de hífen e o código do tratamento, de acordo com a Tabela 2. Logo, o tratamento 1 do cenário A é referenciado como A-1. O uso dessas tabelas é fundamental para a compreensão dos resultados apresentados no Capítulo 4 e discutidos nos Capítulos 5 e 6.



Tabela 2 – Síntese dos tratamentos da simulação

Código do tratamento	Gatilho para TMG	Ajuste para TMG	Gatilho para TMR	Ajuste para TMR	TL Inicial
1	1TR	33%	1TR	33%	600
2	1TR	33%	1TR	15%	600
3	1TR	33%	3TR	33%	600
4	1TR	33%	3TR	15%	600
5	1TR	33%	INV	33%	600
6	1TR	33%	INV	15%	600
7	1TR	15%	1TR	33%	600
8	1TR	15%	1TR	15%	600
9	1TR	15%	3TR	33%	600
10	1TR	15%	3TR	15%	600
11	1TR	15%	INV	33%	600
12	1TR	15%	INV	15%	600
13	3TR	33%	1TR	33%	600
14	3TR	33%	1TR	15%	600
15	3TR	33%	3TR	33%	600
16	3TR	33%	3TR	15%	600
17	3TR	33%	INV	33%	600
18	3TR	33%	INV	15%	600
19	3TR	15%	1TR	33%	600
20	3TR	15%	1TR	15%	600
21	3TR	15%	3TR	33%	600
22	3TR	15%	3TR	15%	600
23	3TR	15%	INV	33%	600
24	3TR	15%	INV	15%	600
25	DESATIVADO	DESATIVADO	DESATIVADO	DESATIVADO	600 constante
26	DESATIVADO	DESATIVADO	DESATIVADO	DESATIVADO	450 constante
27	DESATIVADO	DESATIVADO	DESATIVADO	DESATIVADO	900 constante

TR – Tempo de Reposição; INV – Invasões na região vermelha durante um período de reposição

Fonte: Autor (2018)

Tabela 3 – Síntese dos cenários da simulação

Cenário	Demanda média	CV	Intensidade da sazonalidade
A	Sem tendência	0,3	0
B	Sem tendência	1,5	0
C	Com tendência sazonal	0,3	10%
D	Com tendência sazonal	0,3	30%

Fonte: Autor (2018)

### 3.3.5 Tratamento dos dados gerados pelo ProModel e análise dos resultados

Cada vez que o ProModel executou uma replicação, ele gerou uma planilha com as variáveis de resposta EMS, FR e RAID da rodada. Então, para os cento e oito experimentos realizados, o ProModel gerou um total de 10800 planilhas que foram consolidadas em lotes de 100 planilhas por tratamento, que correspondem às 100 replicações de cada experimento. No Apêndice B está inserida a tabela com os resultados das 100 replicações do tratamento A-1.

Uma planilha adicional foi criada para cada um dos quatro cenários com o intuito de agrupar os resultados das 100 replicações dos vinte e sete tratamentos, facilitando a análise descritiva dos dados por meio do cálculo de suas médias e desvios padrões.

Para oferecer suporte à análise descritiva, os dados foram submetidos à análise de variância mediante o teste Welch's ANOVA e o teste *post hoc* de Games-Howell no *software* R 3.5.0. As escolhas desses testes se devem ao fato de ter sido observada heterogeneidade do tipo irregular entre as variâncias das variáveis de resposta dos tratamentos em todos os cenários (PARK; PAIVA, 2018; ROH; HONG, 2015; TOMARKEN; SERLIN, 1986).

Os testes Welch's ANOVA realizados entre os dados dos vinte e sete tratamentos para os grupos de indicadores FR, EMS e RAID dos quatro cenários apresentaram valores *p* menores que 0,001. Logo, para um nível de significância de 5%, há evidências de que as médias dos tratamentos para cada indicador de cada cenário não são iguais. Os resultados dos testes de Games-Howell que comparam todas as possíveis combinações de tratamentos dois a dois para os cenários A e B são apresentados no Apêndice C e para os cenários C e D no Apêndice D.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo, os resultados das simulações realizadas no Promodel para os cenários A, B, C e D são apresentados e discutidos.

### 4.1 RESULTADOS E TRATAMENTOS RELEVANTES DO CENÁRIO A

A Tabela 4 mostra as médias e os desvios padrões dos indicadores para as 100 replicações de cada tratamento do cenário A (média sem tendência e coeficiente de variação [CV] de 0,3).

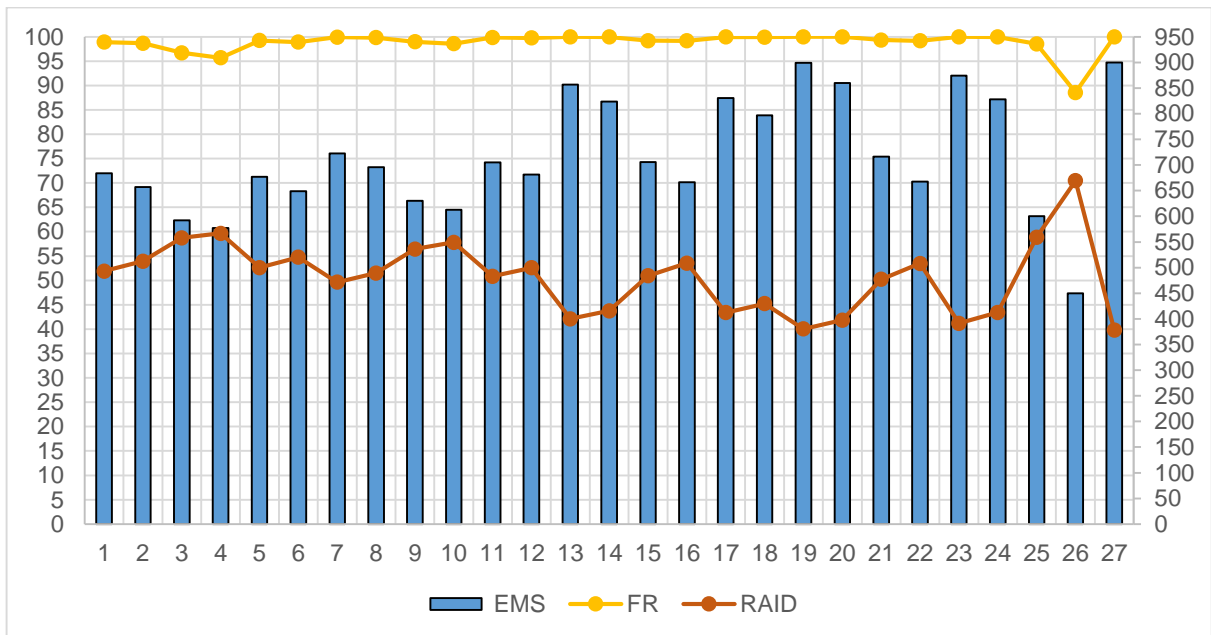
Tabela 4 – Resultados dos experimentos para o cenário A

Tratamento	EMS	DP EMS	FR	DP FR	RAID	DP RAID
1	683,76	32,81	98,90	1,24	51,91	1,96
2	656,79	35,36	98,66	1,60	53,93	2,27
3	591,98	42,15	96,70	3,06	58,74	3,55
4	577,32	46,16	95,70	4,53	59,65	4,22
5	676,85	32,22	99,23	0,84	52,62	1,99
6	648,96	36,67	98,91	1,01	54,74	2,51
7	722,47	36,09	99,91	0,17	49,64	1,98
8	695,84	34,49	99,83	0,28	51,50	2,05
9	630,05	34,69	98,97	0,87	56,42	2,64
10	612,48	36,75	98,57	1,23	57,83	2,94
11	704,79	30,17	99,87	0,18	50,84	1,72
12	681,08	36,73	99,75	0,28	52,60	2,34
13	856,55	74,60	99,98	0,06	42,11	3,42
14	823,57	68,65	99,94	0,14	43,75	3,38
15	705,56	76,84	99,21	0,77	50,95	5,37
16	666,19	45,87	99,16	0,72	53,56	3,46
17	830,76	71,41	99,96	0,09	43,40	3,51
18	796,81	67,93	99,92	0,14	45,23	3,66
19	898,95	64,66	99,99	0,04	40,05	2,84
20	859,74	58,72	99,98	0,07	41,84	2,61
21	716,23	73,63	99,34	0,71	50,21	5,16
22	667,39	46,77	99,17	0,72	53,47	3,50
23	874,29	68,43	99,97	0,08	41,21	3,16
24	828,19	56,17	99,95	0,13	43,42	2,72
25	600,00	0,00	98,55	0,94	58,84	0,90
26	450,00	0,00	88,55	4,89	70,46	3,26
27	900,00	0,00	99,99	0,04	39,81	0,66

DP – Desvio padrão; EMS – Estoque Médio no Sistema; FR – *Fill Rate*; RAID – Rotatividade por Atendimento Imediato da Demanda

A Figura 19 mostra, graficamente, os resultados do cenário A com cada tratamento representado na abscissa, as médias das medidas de desempenho *Fill Rate* (FR) e Rotatividade por Atendimento Imediato da Demanda (RAID) refletidas na ordenada principal e pelo tipo de gráfico em linhas, e as médias do indicador Estoque Médio no Sistema (EMS) representadas na ordenada secundária e pelo tipo de gráfico em colunas.

Figura 19 – Gráfico dos resultados para o cenário A



Os Apêndices E, F e G mostram os *boxplots* de cada tratamento do cenário A para os indicadores FR, EMS e RAID, respectivamente, e fornecem mais detalhes para cada variável de resposta em relação à Figura 19.

De modo geral, todos os tratamentos apresentaram elevados níveis de serviço, com a exceção do A-26, que apresentou média de 88,55% de FR. Isso mostra que não utilizar o método DBM e ter um TL parametrizado com um fator de segurança mais baixo, pode comprometer o desempenho do sistema em nível de serviço. No entanto, o tratamento A-26 apresentou o menor EMS (450) e, por conta disso, o maior índice de RAID (média de 70,46).

O tratamento A-25 também possui o DBM desativado, mas o seu TL foi dimensionado com uma segurança maior (EMS igual a 600). Logo, como o comportamento médio da demanda não se alterou com o decorrer do tempo, mesmo sob a influência de variabilidades, esse tratamento apresentou um bom desempenho

em FR e RAID, com médias de 98,55% e 58,84, respectivamente. Os tratamentos A-3, A-4 e A-10 apresentaram comportamentos semelhantes ao A-25 em RAID. Isso pode ser justificado pelo fato de utilizarem combinações de algoritmos que reagem rapidamente em situações TMG (1TR) e são menos reativos para o gatilho de TMR (3TR).

#### 4.2 RESULTADOS E TRATAMENTOS RELEVANTES DO CENÁRIO B

A Tabela 5 mostra as médias e os desvios padrões dos indicadores para as 100 replicações de cada tratamento do cenário B (média sem tendência e CV de 1,5).

A Figura 20 mostra graficamente os resultados do cenário B com cada tratamento representado na abscissa, as médias das medidas de desempenho FR e RAID refletidas na ordenada principal e pelo tipo de gráfico em linhas, e as médias do indicador EMS representadas na ordenada secundária e pelo tipo de gráfico em colunas.

Tabela 5 – Resultados dos experimentos para o cenário B

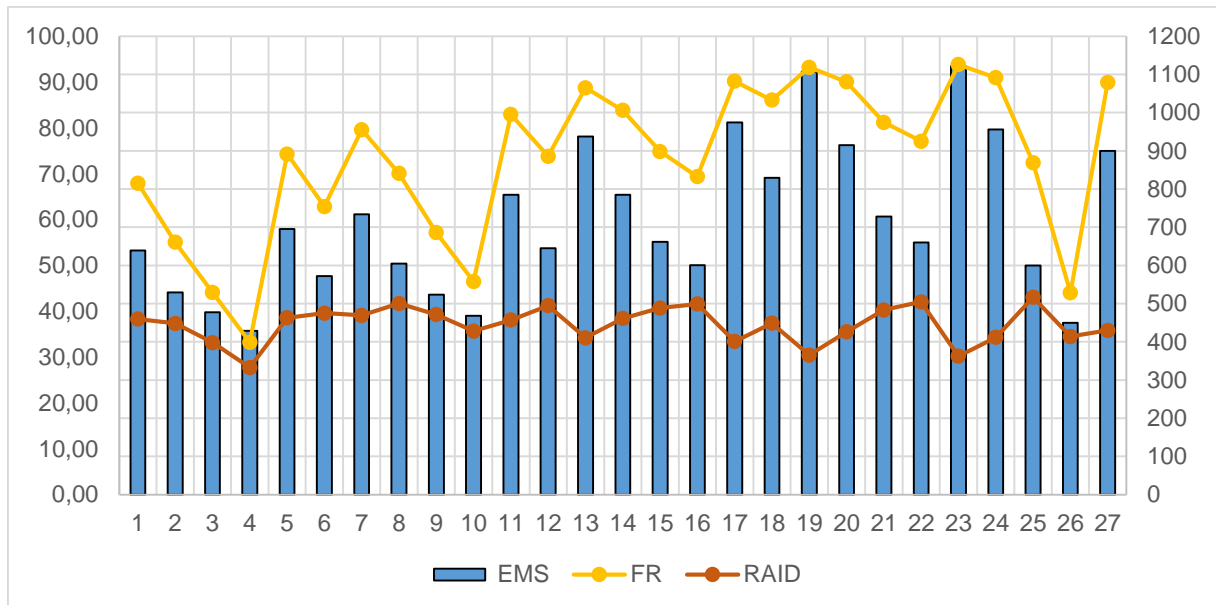
Tratamento	EMS	DP EMS	FR	DP FR	RAID	DP RAID
1	639,02	66,16	67,91	6,60	38,31	3,58
2	529,13	49,66	55,07	8,22	37,36	4,67
3	477,45	48,10	44,09	7,10	33,18	4,63
4	428,66	46,64	33,24	8,28	27,73	5,85
5	694,89	72,14	74,29	5,12	38,59	3,12
6	571,95	57,02	62,85	6,54	39,57	3,73
7	734,16	74,04	79,58	5,04	39,09	2,66
8	605,02	57,97	70,08	6,34	41,69	3,22
9	523,77	54,48	57,13	6,56	39,28	3,99
10	468,41	46,23	46,49	6,72	35,70	4,57
11	784,78	74,71	82,90	4,90	38,09	2,63
12	644,59	60,45	73,80	5,74	41,24	3,11
13	937,19	103,37	88,76	4,89	34,21	2,38
14	785,09	74,78	83,83	6,00	38,45	2,41
15	661,95	63,64	74,84	6,43	40,72	3,29
16	600,71	67,26	69,38	8,18	41,58	3,91
17	974,43	101,18	90,18	4,26	33,42	2,35
18	829,06	80,77	86,05	5,23	37,41	2,27
19	1107,49	131,31	93,20	4,04	30,45	2,31
20	915,12	93,58	90,02	4,84	35,50	2,45

(continuação)

Tratamento	EMS	DP EMS	FR	DP FR	RAID	DP RAID
21	727,57	79,78	81,19	6,40	40,29	3,44
22	660,29	56,99	77,09	6,32	42,02	3,29
23	1121,38	115,36	93,79	3,53	30,21	2,11
24	955,84	94,78	90,94	4,42	34,32	2,12
25	600,00	0,00	72,39	9,58	43,06	3,85
26	450,00	0,00	44,02	13,91	34,48	9,29
27	900,00	0,00	89,89	5,70	35,82	2,18

DP – Desvio padrão; EMS – Estoque Médio no Sistema; FR – *Fill Rate*; RAID – Rotatividade por Atendimento Imediato da Demanda

Figura 20 – Gráfico dos resultados para o cenário B



Os Apêndices H, I e J mostram os *boxplots* de cada tratamento do cenário B para os indicadores FR, EMS e RAID, respectivamente, e fornecem mais detalhes para cada variável de resposta em relação à Figura 20.

Os tratamentos B-3, B-4 e B-10, que no cenário A, apresentaram bons desempenhos, foram os que apresentaram níveis menores de FR e RAID. Isso se deve ao fato de que como esses tratamentos são mais reativos a TMG (1TR) e menos para TMR (3TR), quando a demanda varia de forma negativa, o DBM rapidamente diminui o TL, mas quando ela varia positivamente, o DBM aguarda a permanência de três períodos completos de reposição na região vermelha antes de efetuar qualquer mudança. O tratamento B-26 também apresentou um desempenho baixo em comparação aos demais tratamentos com DBM desativado ou mais reativos ao TMR.

Os tratamentos B-19 e B-23 foram os que alcançaram maiores índices de FR (valor p para a comparação dois a dois de 1,000), mas também os maiores níveis de EMS e baixas RAID. Suas combinações de algoritmos e parâmetros do DBM são as mais conservadoras para TMG (3TR e 15%) e as mais reativas para TMR (1TR/INV e 33%).

O tratamento B-27 teve um bom desempenho em relação a FR e um desempenho mediano para RAID, mesmo com o TL constante (900) durante o período simulado.

Os tratamentos B-8, B-12, B-15, B-16, B-21 e B-22 foram os que alcançaram maiores índices de RAID no cenário B.

#### 4.3 RESULTADOS E TRATAMENTOS RELEVANTES DO CENÁRIO C

A Tabela 6 mostra as médias e os desvios padrões dos indicadores para as 100 replicações de cada tratamento do cenário C (média com tendência sazonal, CV de 0,3 e intensidade da sazonalidade de 10%).

Tabela 6 – Resultados dos experimentos para o cenário C

Tratamento	EMS	DP EMS	FR	DP FR	RAID	DP RAID
1	902,12	44,66	98,81	1,21	51,96	1,94
2	843,20	45,78	98,39	2,01	55,37	2,31
3	767,89	48,63	95,25	3,35	58,90	3,02
4	721,95	46,43	92,87	4,69	61,07	3,74
5	889,62	41,09	99,13	0,96	52,85	1,87
6	843,21	37,97	98,72	1,21	55,53	2,02
7	955,96	42,07	99,86	0,22	49,54	1,65
8	905,49	41,75	99,56	0,65	52,15	1,92
9	814,24	50,78	97,15	2,39	56,66	2,81
10	753,79	45,83	94,57	3,52	59,56	3,14
11	932,78	44,15	99,76	0,26	50,74	1,91
12	882,40	39,58	99,41	0,65	53,43	1,94
13	1117,76	78,16	99,87	0,30	42,50	2,81
14	1065,83	75,29	99,78	0,36	44,53	2,89
15	893,30	72,03	97,60	1,95	52,02	3,65
16	796,04	53,43	95,61	3,33	57,08	3,58
17	1090,38	78,29	99,81	0,31	43,56	2,97
18	1034,47	67,31	99,63	0,42	45,78	2,77
19	1171,96	81,23	99,91	0,23	40,55	2,61

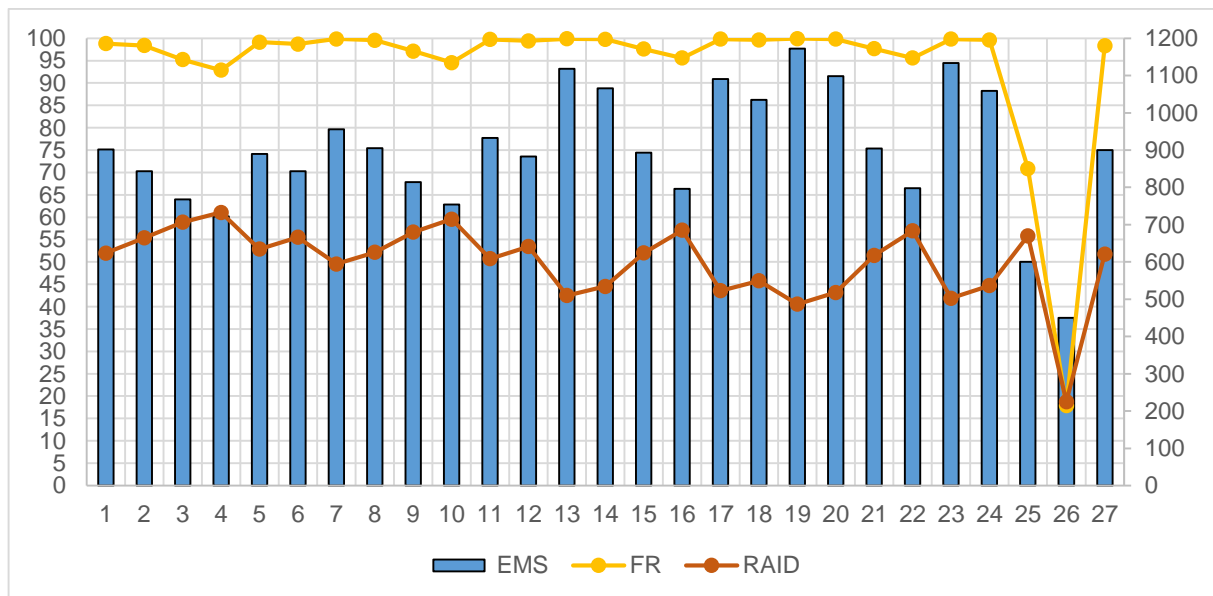
(continuação)

Tratamento	EMS	DP EMS	FR	DP FR	RAID	DP RAID
20	1098,74	73,55	99,80	0,32	43,19	2,61
21	903,93	76,54	97,66	1,93	51,46	3,77
22	797,95	55,28	95,61	3,33	56,96	3,68
23	1133,45	74,30	99,83	0,29	41,87	2,56
24	1058,89	65,39	99,63	0,42	44,71	2,49
25	600,00	0,00	70,87	12,83	55,83	9,52
26	450,00	0,00	17,86	5,36	18,76	5,52
27	900,00	0,00	98,35	1,34	51,75	0,88

DP – Desvio padrão; EMS – Estoque Médio no Sistema; FR – *Fill Rate*; RAID – Rotatividade por Atendimento Imediato da Demanda

A Figura 21 mostra graficamente os resultados do cenário C com cada tratamento representado na abscissa, as médias das medidas de desempenho FR e RAID refletidas na ordenada principal e pelo tipo de gráfico em linhas, e as médias do indicador EMS representadas na ordenada secundária e pelo tipo de gráfico em colunas.

Figura 21 – Gráfico dos resultados para o cenário C



Os Apêndices K, L e M mostram os *boxplots* de cada tratamento do cenário C para os indicadores FR, EMS e RAID, respectivamente, e fornecem mais detalhes para cada variável de resposta em relação à Figura 21.

O cenário C é caracterizado pela baixa variabilidade da demanda (CV igual a 0,3) e pela baixa tendência de aumento da sua média (10%) durante seis meses,



seguida de reduções por cinco meses até que a média da demanda retornasse ao valor inicial.

Manter o DBM desativado em um cenário como esse, prejudica consideravelmente a medida de desempenho FR, como são os casos dos tratamentos C-25 e C-26. Apesar do tratamento C-27 manter o TL constante durante o período simulado, o seu nível relativamente alto de EMS durante o período de baixa demanda contribui para a redução do indicador RAID.

Em geral, todos os tratamentos com o DBM ativo (C-1 até o C-24) mostraram respostas eficazes para as mudanças no comportamento da demanda, com destaque para C-4 e C-10 que tiveram os maiores índices de RAID para níveis relativamente baixos de EMS. Esses tratamentos possuem gatilhos para TMG de 1TR, gatilhos para TMR de 3TR, parâmetros de ajuste para TMR de 15% e se diferem apenas pelo parâmetro de ajuste para TMG.

#### 4.4 RESULTADOS E TRATAMENTOS RELEVANTES DO CENÁRIO D

A Tabela 7 mostra as médias e os desvios padrões dos indicadores para as 100 replicações de cada tratamento do cenário D (média com tendência sazonal, CV de 0,3 e intensidade da sazonalidade de 30%).

Tabela 7 – Resultados dos experimentos para o cenário D

Tratamento	EMS	DP EMS	FR	DP FR	RAID	DP RAID
1	1547,97	77,46	98,31	1,38	53,07	1,90
2	1422,74	80,56	96,61	2,57	56,77	2,48
3	1272,76	66,57	86,48	6,53	56,73	4,04
4	1138,71	64,89	62,44	13,38	45,70	9,24
5	1531,41	76,47	98,65	0,96	53,83	1,95
6	1418,23	75,77	96,91	1,84	57,12	2,32
7	1643,83	81,73	99,25	0,81	50,46	1,81
8	1522,62	82,27	97,49	2,06	53,52	2,25
9	1355,84	81,70	88,02	6,83	54,23	3,99
10	1210,36	59,72	65,96	11,83	45,46	7,84
11	1623,89	81,63	99,06	0,81	50,98	1,90
12	1507,97	76,60	97,42	1,83	54,00	2,24
13	1949,68	163,03	99,33	0,96	42,76	3,13
14	1745,44	113,00	97,80	1,91	46,90	2,56
15	1505,67	104,27	88,41	6,53	49,15	4,30

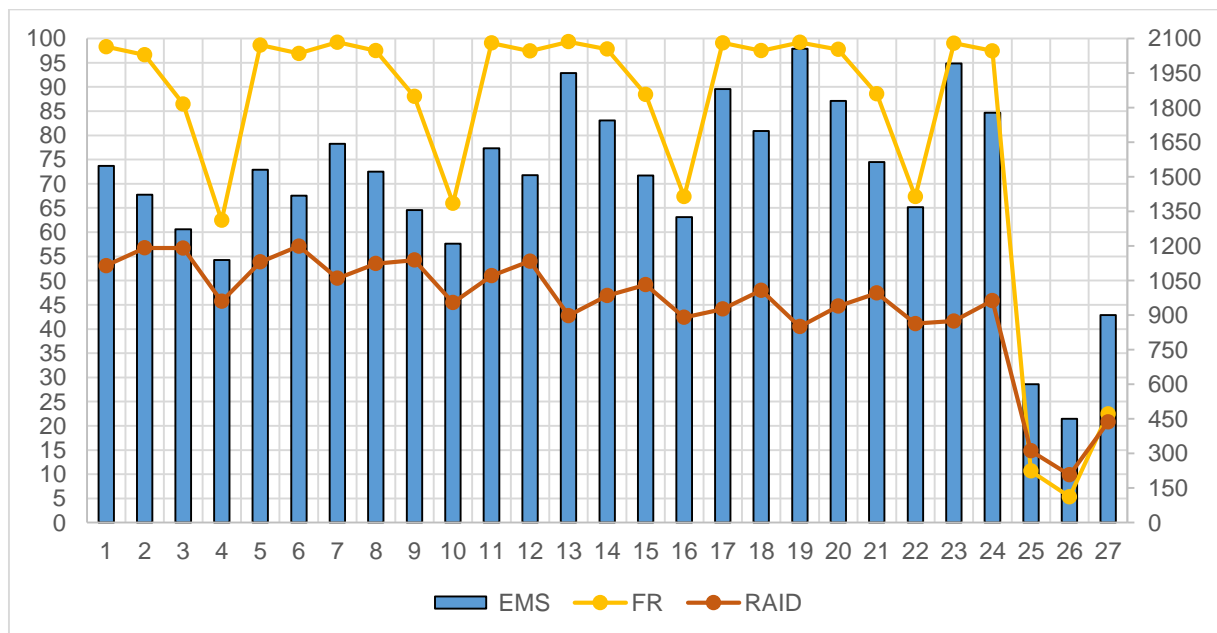
(continuação)

Tratamento	EMS	DP EMS	FR	DP FR	RAID	DP RAID
16	1325,02	70,33	67,34	12,52	42,40	7,62
17	1880,49	123,65	99,11	1,03	44,13	2,58
18	1699,55	98,08	97,49	1,85	47,98	2,37
19	2056,23	170,38	99,22	0,98	40,49	2,92
20	1829,59	117,38	97,75	1,94	44,71	2,34
21	1564,05	116,79	88,54	6,62	47,43	4,50
22	1367,96	72,62	67,34	12,52	41,10	7,51
23	1991,40	125,52	99,03	0,99	41,62	2,28
24	1777,43	106,51	97,46	1,86	45,88	2,46
25	600,00	0,00	10,67	2,01	14,82	2,75
26	450,00	0,00	5,33	1,39	9,87	2,54
27	900,00	0,00	22,45	3,33	20,79	2,92

DP – Desvio padrão; EMS – Estoque Médio no Sistema; FR – *Fill Rate*; RAID – Rotatividade por Atendimento Imediato da Demanda

A Figura 22 mostra graficamente os resultados do cenário D com cada tratamento representado na abscissa, as médias das medidas de desempenho FR e RAID refletidas na ordenada principal e pelo tipo de gráfico em linhas, e as médias do indicador EMS representadas na ordenada secundária e pelo tipo de gráfico em colunas.

Figura 22 – Gráfico dos resultados para o cenário D



Os Apêndices N, O e P mostram os *boxplots* de cada tratamento do cenário D para os indicadores FR, EMS e RAID, respectivamente, e fornecem mais detalhes para cada variável de resposta em relação à Figura 22.

O cenário D é caracterizado pela baixa variabilidade da demanda (CV igual a 0,3) e pela alta tendência de aumento da sua média (30%) durante seis meses, seguida de reduções por cinco meses até que a média da demanda retornasse ao valor inicial.

Para esse cenário, os três tratamentos que não utilizaram as regras do DBM (D-25, D-26 e D-27) tiveram os piores desempenhos.

Em relação aos tratamentos que combinam regras do DBM, o D-4, D-10, D-16 e D-22 apresentaram os piores desempenhos em FR e performances medianas em RAID. Em contrapartida, esses tratamentos se destacaram no cenário C, logo, essas combinações são essenciais em cenários cuja intensidade do efeito da sazonalidade é baixa.

Os tratamentos D-5, D-6, D-11, D-12, D-17, D-18, D-23 e D-24, que utilizaram combinações com o algoritmo que mensura as invasões na região vermelha do pulmão durante um período completo de reposição, apresentaram bons resultados em FR ao lidarem com a alta intensidade de tendência sazonal, com destaque para o tratamento D-6, que junto ao D-2 e D-3, possui o melhor índice de RAID.

#### 4.5 ANÁLISES DOS TRATAMENTOS QUE SE DIFEREM EM APENAS UM FATOR

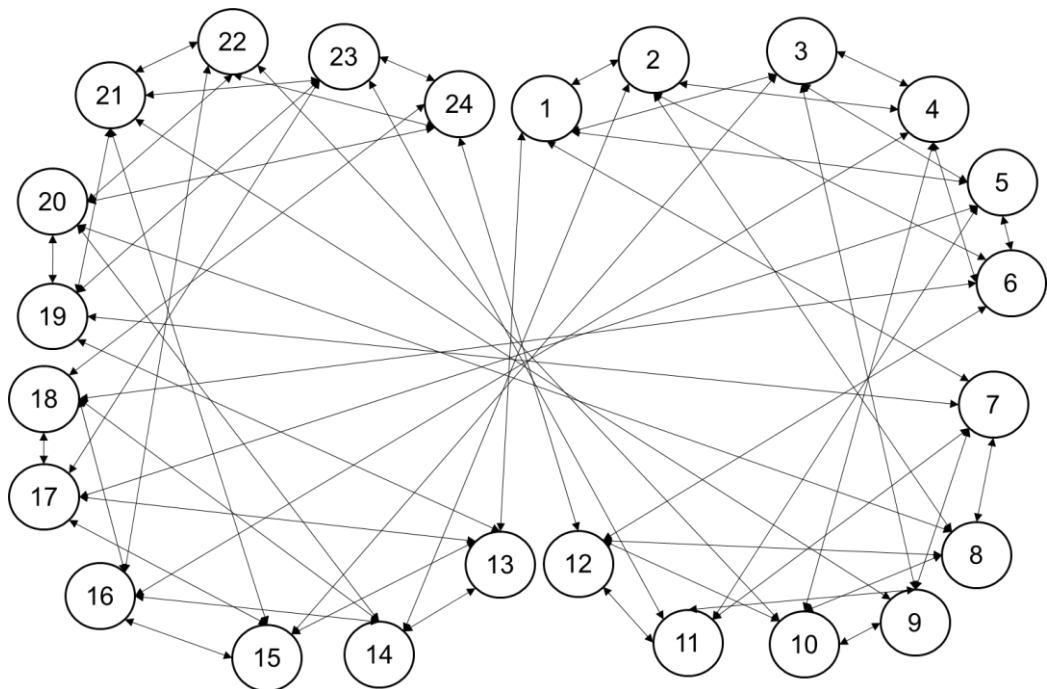
Algumas comparações de interesse foram selecionadas com o propósito de avaliar o impacto da alteração de apenas um fator do método Gerenciamento Dinâmico do Pulmão (*Dynamic Buffer Management* – DBM) sobre os três indicadores utilizados nesta pesquisa, *Fill Rate* (FR), Estoque Médio no Sistema (EMS) e Rotatividade por Atendimento Imediato da Demanda (RAID).

Os pares de tratamentos comparados podem se diferenciar em quatro fatores: gatilho para Verde em Demasia (*Too Much Green* – TMG) (1 Tempo de Reposição [TR] ou 3TR), parâmetro de ajuste para TMG (15% ou 33%), gatilho para Vermelho em Demasia (*Too Much Red* – TMR) (1TR, 3TR ou contagem de invasões na região vermelha durante um período de reposição) ou parâmetro de ajuste para TMR (15% ou 33%). Observa-se que sob essa perspectiva de análise, os tratamentos 25, 26 e

27 não são considerados por não possuírem a técnica do DBM ativada. Logo, com o intuito de comparar os tratamentos que se diferenciavam apenas pelos parâmetros de ajuste do TMR, por exemplo, os pares de tratamentos selecionados foram: 2-1, 4-3, 6-5, 8-7, 10-9, 12-11, 14-13, 16-15, 18-17, 20-19, 22-21 e 24-23.

Ao todo, foram realizadas 60 comparações em cada cenário e a Figura 23 ilustra os tratamentos que foram comparados entre si por se diferenciarem por apenas um fator do método DBM.

Figura 23 – Comparações entre tratamentos que se diferem em um fator



Fonte: Autor (2018)

As Tabelas 8, 9, 10 e 11 mostram as análises para os cenários A, B, C e D, respectivamente, e as colunas intituladas como “Diferem em” indicam qual é o fator que está variando enquanto os demais permanecem constantes nas comparações dois a dois. As colunas com o título de “Análise” mostram para os pares de tratamentos analisados, quais deles possuem desempenhos superiores para um determinado indicador ou se ambos possuem a mesma performance (médias semelhantes para  $p > 0,05$ ), segundo o teste de Games-Howell. As comparações entre os tratamentos estão de acordo com a Figura 23.

Tabela 8 – Análise entre grupos de tratamentos que se diferenciam em apenas um fator para o cenário A

Tratamentos comparados dois a dois	Diferem em	FR		EMS		RAID	
		valor p	Análise	valor p	Análise	valor p	Análise
13-1	GATILHO TMG	<.001	13	<.001	1	<.001	1
14-2	GATILHO TMG	<.001	14	<.001	2	<.001	2
15-3	GATILHO TMG	<.001	15	<.001	3	<.001	3
16-4	GATILHO TMG	<.001	16	<.001	4	<.001	4
17-5	GATILHO TMG	<.001	17	<.001	5	<.001	5
18-6	GATILHO TMG	<.001	18	<.001	6	<.001	6
19-7	GATILHO TMG	0,002	19	<.001	7	<.001	7
20-8	GATILHO TMG	<.001	20	<.001	8	<.001	8
21-9	GATILHO TMG	0,209	=	<.001	9	<.001	9
22-10	GATILHO TMG	0,012	22	<.001	10	<.001	10
23-11	GATILHO TMG	<.001	23	<.001	11	<.001	11
24-12	GATILHO TMG	<.001	24	<.001	12	<.001	12
7-1	AJUSTE TMG	<.001	7	<.001	1	<.001	1
8-2	AJUSTE TMG	<.001	8	<.001	2	<.001	2
9-3	AJUSTE TMG	<.001	9	<.001	3	<.001	3
10-4	AJUSTE TMG	<.001	10	<.001	4	0,095	=
11-5	AJUSTE TMG	<.001	11	<.001	5	<.001	5
12-6	AJUSTE TMG	<.001	12	<.001	6	<.001	6
19-13	AJUSTE TMG	0,999	=	0,007	13	0,002	13
20-14	AJUSTE TMG	0,574	=	0,022	14	0,004	14
21-15	AJUSTE TMG	1,000	=	1,000	=	1,000	=
22-16	AJUSTE TMG	1,000	=	1,000	=	1,000	=
23-17	AJUSTE TMG	1,000	=	0,005	17	0,002	17
24-18	AJUSTE TMG	0,999	=	0,090	=	0,024	18
3-1	GATILHO TMR	<.001	1	<.001	3	<.001	3
5-1	GATILHO TMR	0,897	=	0,999	=	0,704	=
4-2	GATILHO TMR	<.001	2	<.001	4	<.001	4
6-2	GATILHO TMR	1,000	=	0,999	=	0,800	=
5-3	GATILHO TMR	<.001	5	<.001	3	<.001	3
6-4	GATILHO TMR	<.001	6	<.001	4	<.001	4
9-7	GATILHO TMR	<.001	7	<.001	9	<.001	9
11-7	GATILHO TMR	0,995	=	0,049	11	0,003	11
10-8	GATILHO TMR	<.001	8	<.001	10	<.001	10
12-8	GATILHO TMR	0,987	=	0,400	=	0,096	=
11-9	GATILHO TMR	<.001	11	<.001	9	<.001	9
12-10	GATILHO TMR	<.001	12	<.001	10	<.001	10
15-13	GATILHO TMR	<.001	13	<.001	15	<.001	15
17-13	GATILHO TMR	0,997	=	0,732	=	0,627	=
16-14	GATILHO TMR	<.001	14	<.001	16	<.001	16
18-14	GATILHO TMR	1,000	=	0,522	=	0,370	=
17-15	GATILHO TMR	<.001	17	<.001	15	<.001	15
18-16	GATILHO TMR	<.001	18	<.001	16	<.001	16
21-19	GATILHO TMR	<.001	19	<.001	21	<.001	21
23-19	GATILHO TMR	0,946	=	0,640	=	0,552	=
22-20	GATILHO TMR	<.001	20	<.001	22	<.001	22
24-20	GATILHO TMR	0,881	=	0,033	24	0,011	24
23-21	GATILHO TMR	<.001	23	<.001	21	<.001	21

(continuação)

Tratamentos comparados dois a dois	Diferem em	FR		EMS		RAID	
		valor p	Análise	valor p	Análise	valor p	Análise
24-22	GATILHO TMR	<.001	24	<.001	22	<.001	22
2-1	AJUSTE TMR	1,000	=	<.001	2	<.001	2
4-3	AJUSTE TMR	0,986	=	0,829	=	0,997	=
6-5	AJUSTE TMR	0,784	=	<.001	6	<.001	6
8-7	AJUSTE TMR	0,664	=	<.001	8	<.001	8
10-9	AJUSTE TMR	0,579	=	0,113	=	0,090	=
12-11	AJUSTE TMR	0,120	=	<.001	12	<.001	12
14-13	AJUSTE TMR	0,523	=	0,201	=	0,134	=
16-15	AJUSTE TMR	1,000	=	0,005	16	0,017	16
18-17	AJUSTE TMR	0,691	=	0,123	=	0,078	=
20-19	AJUSTE TMR	0,999	=	0,003	20	0,002	20
22-21	AJUSTE TMR	0,995	=	<.001	22	<.001	22
24-23	AJUSTE TMR	0,990	=	<.001	24	<.001	24

TMG – *Too Much Green*; TMR – *Too Much Red*; FR – *Fill Rate*; EMS – *Estoque Médio no Sistema*; RAID – *Rotatividade por Atendimento Imediato da Demanda*

Tabela 9 – Análise entre grupos de tratamentos que se diferenciam em apenas um fator para o cenário B

Tratamentos comparados dois a dois	Diferem em	FR		EMS		RAID	
		valor p	Análise	valor p	Análise	valor p	Análise
13-1	GATILHO TMG	<.001	13	<.001	1	<.001	1
14-2	GATILHO TMG	<.001	14	<.001	2	0,944	=
15-3	GATILHO TMG	<.001	15	<.001	3	<.001	15
16-4	GATILHO TMG	<.001	16	<.001	4	<.001	16
17-5	GATILHO TMG	<.001	17	<.001	5	<.001	5
18-6	GATILHO TMG	<.001	18	<.001	6	0,001	6
19-7	GATILHO TMG	<.001	19	<.001	7	<.001	7
20-8	GATILHO TMG	<.001	20	<.001	8	<.001	8
21-9	GATILHO TMG	<.001	21	<.001	9	0,977	=
22-10	GATILHO TMG	<.001	22	<.001	10	<.001	22
23-11	GATILHO TMG	<.001	23	<.001	11	<.001	11
24-12	GATILHO TMG	<.001	24	<.001	12	<.001	12
7-1	AJUSTE TMG	<.001	7	<.001	1	0,993	=
8-2	AJUSTE TMG	<.001	8	<.001	2	<.001	8
9-3	AJUSTE TMG	<.001	9	<.001	3	<.001	9
10-4	AJUSTE TMG	<.001	10	<.001	4	<.001	10
11-5	AJUSTE TMG	<.001	11	<.001	5	1,000	=
12-6	AJUSTE TMG	<.001	12	<.001	6	0,129	=
19-13	AJUSTE TMG	<.001	19	<.001	13	<.001	13
20-14	AJUSTE TMG	<.001	20	<.001	14	<.001	14
21-15	AJUSTE TMG	<.001	21	<.001	15	1,000	=
22-16	AJUSTE TMG	<.001	22	<.001	16	1,000	=
23-17	AJUSTE TMG	<.001	23	<.001	17	<.001	17
24-18	AJUSTE TMG	<.001	24	<.001	18	<.001	18
3-1	GATILHO TMR	<.001	1	<.001	3	<.001	1

		(continuação)					
Tratamentos comparados dois a dois	Diferem em	FR		EMS		RAID	
		valor p	Análise	valor p	Análise	valor p	Análise
5-1	GATILHO TMR	<.001	5	<.001	1	1,000	=
4-2	GATILHO TMR	<.001	2	<.001	4	<.001	2
6-2	GATILHO TMR	<.001	6	<.001	2	0,059	=
5-3	GATILHO TMR	<.001	5	<.001	3	<.001	5
6-4	GATILHO TMR	<.001	6	<.001	4	<.001	6
9-7	GATILHO TMR	<.001	7	<.001	9	1,000	=
11-7	GATILHO TMR	0,001	11	0,001	7	0,593	=
10-8	GATILHO TMR	<.001	8	<.001	10	<.001	8
12-8	GATILHO TMR	0,006	12	0,001	8	1,000	=
11-9	GATILHO TMR	<.001	11	<.001	9	0,734	=
12-10	GATILHO TMR	<.001	12	<.001	10	<.001	12
15-13	GATILHO TMR	<.001	13	<.001	15	<.001	15
17-13	GATILHO TMR	0,905	=	0,675	=	0,828	=
16-14	GATILHO TMR	<.001	14	<.001	16	<.001	16
18-14	GATILHO TMR	0,506	=	0,022	14	0,248	=
17-15	GATILHO TMR	<.001	17	<.001	15	<.001	15
18-16	GATILHO TMR	<.001	18	<.001	16	<.001	16
21-19	GATILHO TMR	<.001	19	<.001	21	<.001	21
23-19	GATILHO TMR	1,000	=	1,000	=	1,000	=
22-20	GATILHO TMR	<.001	20	<.001	22	<.001	22
24-20	GATILHO TMR	1,000	=	0,313	=	0,069	=
23-21	GATILHO TMR	<.001	23	<.001	21	<.001	21
24-22	GATILHO TMR	<.001	24	<.001	22	<.001	22
2-1	AJUSTE TMR	<.001	1	<.001	2	0,998	=
4-3	AJUSTE TMR	<.001	3	<.001	4	<.001	3
6-5	AJUSTE TMR	<.001	5	<.001	6	0,957	=
8-7	AJUSTE TMR	<.001	7	<.001	8	<.001	8
10-9	AJUSTE TMR	<.001	9	<.001	10	<.001	9
12-11	AJUSTE TMR	<.001	11	<.001	12	<.001	12
14-13	AJUSTE TMR	<.001	13	<.001	14	<.001	14
16-15	AJUSTE TMR	<.001	15	<.001	16	0,997	=
18-17	AJUSTE TMR	<.001	17	<.001	18	<.001	18
20-19	AJUSTE TMR	<.001	19	<.001	20	<.001	20
22-21	AJUSTE TMR	0,003	21	<.001	22	0,069	=
24-23	AJUSTE TMR	<.001	23	<.001	24	<.001	24

TMG – *Too Much Green*; TMR – *Too Much Red*; FR – *Fill Rate*; EMS – *Estoque Médio no Sistema*; RAID – *Rotatividade por Atendimento Imediato da Demanda*

Tabela 10 – Análise entre grupos de tratamentos que se diferenciam em apenas um fator para o cenário C

Tratamentos comparados dois a dois	Diferem em	FR		EMS		RAID	
		valor p	Análise	valor p	Análise	valor p	Análise
13-1	GATILHO TMG	<.001	13	<.001	1	<.001	1
14-2	GATILHO TMG	<.001	14	<.001	2	<.001	2

		(continuação)					
Tratamentos comparados dois a dois	Diferem em	FR		EMS		RAID	
		valor p	Análise	valor p	Análise	valor p	Análise
15-3	GATILHO TMG	<.001	15	<.001	3	<.001	3
16-4	GATILHO TMG	0,001	16	<.001	4	<.001	4
17-5	GATILHO TMG	<.001	17	<.001	5	<.001	5
18-6	GATILHO TMG	<.001	18	<.001	6	<.001	6
19-7	GATILHO TMG	0,984	=	<.001	7	<.001	7
20-8	GATILHO TMG	0,149	=	<.001	8	<.001	8
21-9	GATILHO TMG	0,997	=	<.001	9	<.001	9
22-10	GATILHO TMG	0,920	=	<.001	10	<.001	10
23-11	GATILHO TMG	0,997	=	<.001	11	<.001	11
24-12	GATILHO TMG	0,457	=	<.001	12	<.001	12
7-1	AJUSTE TMG	<.001	7	<.001	1	<.001	1
8-2	AJUSTE TMG	<.001	8	<.001	2	<.001	2
9-3	AJUSTE TMG	0,002	9	<.001	3	<.001	3
10-4	AJUSTE TMG	0,427	=	0,001	4	0,285	=
11-5	AJUSTE TMG	<.001	11	<.001	5	<.001	5
12-6	AJUSTE TMG	<.001	12	<.001	6	<.001	6
19-13	AJUSTE TMG	1,000	=	0,001	13	<.001	13
20-14	AJUSTE TMG	1,000	=	0,27	=	0,119	=
21-15	AJUSTE TMG	1,000	=	1	=	1,000	=
22-16	AJUSTE TMG	1,000	=	1	=	1,000	=
23-17	AJUSTE TMG	1,000	=	0,023	17	0,007	17
24-18	AJUSTE TMG	1,000	=	0,654	=	0,425	=
3-1	GATILHO TMR	<.001	1	<.001	3	<.001	3
5-1	GATILHO TMR	0,948	=	0,949	=	0,181	=
4-2	GATILHO TMR	<.001	2	<.001	4	<.001	4
6-2	GATILHO TMR	1,000	=	1	=	1,000	=
5-3	GATILHO TMR	<.001	5	<.001	3	<.001	3
6-4	GATILHO TMR	<.001	6	<.001	4	<.001	4
9-7	GATILHO TMR	<.001	7	<.001	9	<.001	9
11-7	GATILHO TMR	0,549	=	0,043	11	0,001	11
10-8	GATILHO TMR	<.001	8	<.001	10	<.001	10
12-8	GATILHO TMR	0,997	=	0,021	12	0,002	12
11-9	GATILHO TMR	<.001	11	<.001	9	<.001	9
12-10	GATILHO TMR	<.001	12	<.001	10	<.001	10
15-13	GATILHO TMR	<.001	13	<.001	15	<.001	15
17-13	GATILHO TMR	1,000	=	0,747	=	0,670	=
16-14	GATILHO TMR	<.001	14	<.001	16	<.001	16
18-14	GATILHO TMR	0,548	=	0,282	=	0,268	=
17-15	GATILHO TMR	<.001	17	<.001	15	<.001	15
18-16	GATILHO TMR	<.001	18	<.001	16	<.001	16
21-19	GATILHO TMR	<.001	19	<.001	21	<.001	21
23-19	GATILHO TMR	0,807	=	0,107	=	0,077	=
22-20	GATILHO TMR	<.001	20	<.001	22	<.001	22
24-20	GATILHO TMR	0,155	=	0,018	24	0,010	24
23-21	GATILHO TMR	<.001	23	<.001	21	<.001	21
24-22	GATILHO TMR	<.001	24	<.001	22	<.001	22
2-1	AJUSTE TMR	0,991	=	<.001	2	<.001	2
4-3	AJUSTE TMR	0,014	3	<.001	4	0,003	4
6-5	AJUSTE TMR	0,612	=	<.001	6	<.001	6



(continuação)

Tratamentos comparados dois a dois	Diferem em	FR		EMS		RAID	
		valor p	Análise	valor p	Análise	valor p	Análise
8-7	AJUSTE TMR	0,008	7	<.001	8	<.001	8
10-9	AJUSTE TMR	<.001	9	<.001	10	<.001	10
12-11	AJUSTE TMR	<.001	11	<.001	12	<.001	12
14-13	AJUSTE TMR	0,966	=	0,001	14	<.001	14
16-15	AJUSTE TMR	<.001	15	<.001	16	<.001	16
18-17	AJUSTE TMR	0,092	=	<.001	18	<.001	18
20-19	AJUSTE TMR	0,447	=	<.001	20	<.001	20
22-21	AJUSTE TMR	<.001	21	<.001	22	<.001	22
24-23	AJUSTE TMR	0,029	23	<.001	24	<.001	24

TMG – *Too Much Green*; TMR – *Too Much Red*; FR – *Fill Rate*; EMS – *Estoque Médio no Sistema*; RAID – *Rotatividade por Atendimento Imediato da Demanda*

Tabela 11 – Análise entre grupos de tratamentos que se diferenciam em apenas um fator para o cenário D

Tratamentos comparados dois a dois	Diferem em	FR		EMS		RAID	
		valor p	Análise	valor p	Análise	valor p	Análise
13-1	GATILHO TMG	<.001	13	<.001	1	<.001	1
14-2	GATILHO TMG	0,058	=	<.001	2	<.001	2
15-3	GATILHO TMG	0,938	=	<.001	3	<.001	3
16-4	GATILHO TMG	0,601	=	<.001	4	0,535	=
17-5	GATILHO TMG	0,194	=	<.001	5	<.001	5
18-6	GATILHO TMG	0,895	=	<.001	6	<.001	6
19-7	GATILHO TMG	1,000	=	<.001	7	<.001	7
20-8	GATILHO TMG	1,000	=	<.001	8	<.001	8
21-9	GATILHO TMG	1,000	=	<.001	9	<.001	9
22-10	GATILHO TMG	1,000	=	<.001	10	0,021	10
23-11	GATILHO TMG	1,000	=	<.001	11	<.001	11
24-12	GATILHO TMG	1,000	=	<.001	12	<.001	12
7-1	AJUSTE TMG	<.001	7	<.001	1	<.001	1
8-2	AJUSTE TMG	0,595	=	<.001	2	<.001	2
9-3	AJUSTE TMG	0,997	=	<.001	3	0,005	3
10-4	AJUSTE TMG	0,968	=	<.001	4	1,000	=
11-5	AJUSTE TMG	0,191	=	<.001	5	<.001	5
12-6	AJUSTE TMG	0,968	=	<.001	6	<.001	6
19-13	AJUSTE TMG	1,000	=	0,003	13	<.001	13
20-14	AJUSTE TMG	1,000	=	<.001	14	<.001	14
21-15	AJUSTE TMG	1,000	=	0,054	=	0,529	=
22-16	AJUSTE TMG	1,000	=	0,009	16	1,000	=
23-17	AJUSTE TMG	1,000	=	<.001	17	<.001	17
24-18	AJUSTE TMG	1,000	=	<.001	18	<.001	18
3-1	GATILHO TMR	<.001	1	<.001	3	<.001	3
5-1	GATILHO TMR	0,956	=	0,999	=	0,497	=
4-2	GATILHO TMR	<.001	2	<.001	4	<.001	2
6-2	GATILHO TMR	1,000	=	1	=	1,000	=
5-3	GATILHO TMR	<.001	5	<.001	3	<.001	3
6-4	GATILHO TMR	<.001	6	<.001	4	<.001	6
9-7	GATILHO TMR	<.001	7	<.001	9	<.001	9

		(continuação)					
Tratamentos comparados dois a dois	Diferem em	FR		EMS		RAID	
		valor p	Análise	valor p	Análise	valor p	Análise
11-7	GATILHO TMR	0,996	=	0,994	=	0,962	=
10-8	GATILHO TMR	<.001	8	<.001	10	<.001	8
12-8	GATILHO TMR	1,000	=	1	=	0,999	=
11-9	GATILHO TMR	<.001	11	<.001	9	<.001	9
12-10	GATILHO TMR	<.001	12	<.001	10	<.001	12
15-13	GATILHO TMR	<.001	13	<.001	15	<.001	15
17-13	GATILHO TMR	0,999	=	0,147	=	0,144	=
16-14	GATILHO TMR	<.001	14	<.001	16	<.001	14
18-14	GATILHO TMR	1,000	=	0,306	=	0,289	=
17-15	GATILHO TMR	<.001	17	<.001	15	<.001	15
18-16	GATILHO TMR	<.001	18	<.001	16	<.001	18
21-19	GATILHO TMR	<.001	19	<.001	21	<.001	21
23-19	GATILHO TMR	1,000	=	0,31	=	0,309	=
22-20	GATILHO TMR	<.001	20	<.001	22	0,003	20
24-20	GATILHO TMR	1,000	=	0,184	=	0,123	=
23-21	GATILHO TMR	<.001	23	<.001	21	<.001	21
24-22	GATILHO TMR	<.001	24	<.001	22	<.001	24
2-1	AJUSTE TMR	<.001	1	<.001	2	<.001	2
4-3	AJUSTE TMR	<.001	3	<.001	4	<.001	3
6-5	AJUSTE TMR	<.001	5	<.001	6	<.001	6
8-7	AJUSTE TMR	<.001	7	<.001	8	<.001	8
10-9	AJUSTE TMR	<.001	9	<.001	10	<.001	9
12-11	AJUSTE TMR	<.001	11	<.001	12	<.001	12
14-13	AJUSTE TMR	<.001	13	<.001	14	<.001	14
16-15	AJUSTE TMR	<.001	15	<.001	16	<.001	15
18-17	AJUSTE TMR	<.001	17	<.001	18	<.001	18
20-19	AJUSTE TMR	<.001	19	<.001	20	<.001	20
22-21	AJUSTE TMR	<.001	21	<.001	22	<.001	21
24-23	AJUSTE TMR	<.001	23	<.001	24	<.001	24

TMG – *Too Much Green*; TMR – *Too Much Red*; FR – *Fill Rate*; EMS – *Estoque Médio no Sistema*; RAID – *Rotatividade por Atendimento Imediato da Demanda*

#### 4.5.1 Tratamentos que se diferem no gatilho para TMG

Na ocasião em que os tratamentos comparados se diferem apenas pelo gatilho para TMG (13-1, 14-2, 15-3, 16-4, 17-5, 18-6, 19-7, 20-8, 21-9, 22-10, 23-11 e 24-12), em todos os cenários, os tratamentos que possuem gatilhos de 1TR são superiores com relação ao desempenho em EMS. Esse resultado era esperado, pois os tratamentos com gatilhos de 1TR para TMG são mais propensos a manter níveis mais baixos de Estoque Alvo (*Target Level* – TL) e, conseqüentemente, baixas quantidades de estoque no sistema. Além disso, para os cenários A e C, os tratamentos que apresentam menores índices de EMS, também são os que apresentam melhores desempenhos em RAID, pois como esses cenários apresentam baixa variabilidade da

demanda e menor intensidade do efeito da sazonalidade, respectivamente, a diferença entre as performances de FR dos tratamentos é modesta e, por conta disso, baixos níveis de EMS também se traduzem em melhores desempenhos em RAID.

Ainda sob a perspectiva da diferenciação apenas pelo gatilho para TMG, no cenário B, cuja variabilidade é alta, os tratamentos que possuem gatilhos de 3TR são os que apresentam maiores índices de FR. Já para o cenário D, não há diferenças significativas entre as médias dos tratamentos comparados dois a dois para o indicador FR, com a exceção da comparação entre os tratamentos 13-1, que possui valor p menor que 0,001 e o tratamento 13 se mostra superior ao tratamento 1 nesse quesito.

#### 4.5.2 Tratamentos que se diferem no parâmetro de ajuste para TMG

Quando os tratamentos comparados se diferem apenas no parâmetro de ajuste para TMG (7-1, 8-2, 9-3, 10-4, 11-5, 12-6, 19-13, 20-14, 21-15, 22-16, 23-17 e 24-18), nos cenários A e B, aqueles que possuem gatilhos para TMG de 1TR e ajustes de 15% são superiores aos que possuem ajustes de 33% em relação ao indicador FR. Já quando o gatilho para TMG é de 3TR, no cenário A, não há diferenças significativas entre as médias de FR para os tratamentos. No cenário B, tratamentos que ajustam em 15% o nível do TL para TMG são melhores em FR do que os que ajustam em 33% quando o gatilho para TMG é de 3TR. Portanto, em ambientes de variabilidade alta da demanda, pequenas reduções do TL pelo DBM garantem melhores índices de nível de serviço.

No cenário C, quando o gatilho para TMG é de 1TR, os tratamentos que ajustam o TL para TMG em 15% possuem maiores desempenhos em FR, exceto pela comparação entre os tratamentos 10-4, que de acordo com o teste de Games-Howell, não possuem diferenças significativas entre suas médias, com valor p igual a 0,427. Por outro lado, os tratamentos que ajustam o TL para TMG em 33% são superiores em EMS e RAID, novamente com exceção dos tratamentos 10-4 que não possuem diferenças significativas entre suas médias de RAID, com valor p igual a 0,285. Quando o gatilho para TMG é de 3TR, não há diferenças significativas entre as médias de FR para os tratamentos. Logo, em ambientes cuja demanda tem comportamento sazonal de baixa tendência, utilizar parâmetros de ajuste de 15% ou 33% no momento

em que o gatilho para TMG é de 3TR, não interfere no desempenho do sistema em termos de nível de serviço.

No cenário D, os tratamentos que diferem em quantidade de ajuste para TMG não possuem diferenças significativas entre as suas médias para FR, com exceção dos tratamentos 7-1, cujo valor p do teste de Games-Howell é menor que 0,001, sendo que o desempenho do tratamento 7 é superior ao 1 para esse indicador. Em relação ao indicador EMS, há evidências de que os tratamentos que ajustam o nível do TL para TMG em 33% mantêm níveis mais baixos de estoque, exceto para os tratamentos 21-15, que não apresentaram diferenças significativas entre as suas médias de EMS, com valor p igual a 0,054.

#### 4.5.3 Tratamentos que se diferem no gatilho para TMR

No momento em que a diferença entre os tratamentos está apenas no gatilho para TMR (3-1, 5-1, 4-2, 6-2, 5-3, 6-4, 9-7, 11-7, 10-8, 12-8, 11-9, 12-10, 15-13, 17-13, 16-14, 18-14, 17-15, 18-16, 21-19, 23-19, 22-20, 24-20, 23-21 e 24-22), tanto para o cenário A, quanto para o cenário C, os tratamentos que possuem gatilhos para TMR de 1TR comparados aos que contabilizam invasões na região vermelha (5-1, 6-2, 11-7, 12-8, 17-13, 18-14, 23-19 e 24-20), possuem desempenhos semelhantes, exceto para as comparações dois a dois entre 11-7 e 24-20, cujos valores p para o indicador EMS são, respectivamente, 0,049 e 0,033 para o cenário A e 0,043 e 0,018 para o cenário C. Para o indicador RAID, os valores p das comparações entre esses pares de tratamentos são, respectivamente, 0,003 e 0,011 para o cenário A e 0,001 e 0,010 para o cenário C. Sendo assim, se os parâmetros de ajuste para TMG e TMR forem de 15% (11-7 e 24-20), os tratamentos que fazem a contagem de invasões na região vermelha (11 e 24) têm desempenhos maiores do que os que possuem gatilhos de 1TR para TMR (7 e 20). Ainda para o cenário C, na comparação entre os tratamentos 12-8, o tratamento 12 possui desempenhos levemente superiores em EMS e RAID com valores p iguais a 0,021 e 0,002, nessa ordem.

Em ambientes de variabilidade alta, como o cenário B, quando o gatilho para TMG é de 1TR, os tratamentos que possuem gatilhos para TMR de 1TR ou que contabilizam invasões na região vermelha superam os que possuem gatilhos de 3TR para TMR em FR e RAID, pois nesse caso, manter menos estoque no sistema com o algoritmo do DBM mais reativo a TMG, compromete o nível de serviço ofertado para

o atendimento da demanda. No entanto, quando o gatilho para TMG é de 3TR, os tratamentos que possuem gatilhos para TMR, também de 3TR, oferecem índices maiores de RAID, mesmo mantendo níveis mais baixos de EMS.

No cenário D, não há diferenças significativas para os indicadores FR, EMS e RAID entre os tratamentos que possuem gatilhos para TMR de 1TR ou que contabilizam as invasões na região vermelha. Por outro lado, quando esses tratamentos são comparados com os que possuem gatilhos para TMR de 3TR, estes apresentam desempenhos superiores em EMS, mas são inferiores em FR.

#### 4.5.4 Tratamentos que se diferem no parâmetro de ajuste para TMR

Na ocasião em que a diferença entre os tratamentos comparados está apenas no tamanho do ajuste para TMR (2-1, 4-3, 6-5, 8-7, 10-9, 12-11, 14-13, 16-15, 18-17, 20-19, 22-21 e 24-23), no cenário A, quando o tamanho do ajuste é menor (15%), tais tratamentos, em geral, possuem desempenhos iguais ou superiores aos que ajustam o TL em maior quantidade (33%). Logo, em ambientes cuja demanda não apresenta tendências e a variabilidade é baixa, é preferível que o algoritmo do DBM faça ajustes modestos no nível de TL.

No cenário B, tratamentos com parâmetros de ajuste de 33% para TMR apresentam índices de FR superiores, mas mantêm elevados níveis de EMS. O indicador RAID é maior para os tratamentos que aumentam o TL em 15%, exceto para os tratamentos comparados dois a dois cujo gatilho para TMR é de 3TR. Assim, em cenários com alta variabilidade, quando o tempo para o gatilho do TMR é longo, é preferível que o DBM recomende ajustes mais altos.

No cenário C, tratamentos que utilizam gatilhos para TMR de 1TR ou que executam a contagem de invasões na região vermelha e que também ajustam o nível do TL para TMG em 33%, possuem níveis de FR similares. No entanto, tratamentos que possuem parâmetros de ajuste para TMR de 15% são melhores em desempenho para EMS e RAID.

No cenário D, em que a intensidade da sazonalidade é alta, tratamentos que possuem gatilhos de TMR de 3TR e que ajustam o TL em 15% (D-4, D-10, D-16 e D-22) oferecem os piores desempenhos em FR e RAID.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento desta pesquisa permitiu a avaliação da efetividade da técnica Gerenciamento Dinâmico do Pulmão (*Dynamic Buffer Management – DBM*) como forma de preservar a disponibilidade de produtos destinados à entrega imediata em ambientes que adotem a solução de distribuição e reposição puxada da Teoria das Restrições (*Theory of Constraints – TOC*). O DBM é composto por algoritmos que determinam o momento em que é necessário ajustar os níveis-alvo de estoque e por parâmetros que dimensionam esse ajuste de acordo com determinados padrões de comportamentos do estoque de produtos acabados (CHANG; CHANG; CHANG, 2017; SOUZA; PIRES, 2014, 2010; SCHRAGENHEIM, A., 2013; SCHRAGENHEIM, E., 2013b; COX III et al., 2012). Sendo assim, por meio da pesquisa bibliográfica realizada durante a elaboração da fundamentação conceitual, presente no Capítulo 2, foi possível compreender o funcionamento do método DBM e consolidar os seus algoritmos e parâmetros disponíveis na literatura para apoiar nas decisões de gestão de estoques em cadeias de suprimentos.

O uso do método de simulação com o *software* Promodel proporcionou a criação de um ambiente de testes em quatro cenários para o DBM e suas combinações de algoritmos e parâmetros. Diante disso, foram realizados vinte e sete experimentos para cada cenário com o propósito de analisar quais tratamentos cujas combinações de parâmetros do DBM proporcionam melhores desempenhos para os indicadores utilizados nesta pesquisa.

Cada experimento foi replicado 100 vezes, obtendo-se amostras das três variáveis de resposta (indicadores): *Fill Rate* (FR), Estoque Médio no Sistema (EMS) e Rotatividade por Atendimento Imediato da Demanda (RAID). As cento e oito amostras geradas foram verificadas em grupos de cenários no *software* R 3.5.0, por meio do teste Welch's ANOVA e o teste *post hoc* de Games-Howell, suportando a análise descritiva dos resultados gerados pelas simulações.

Em ambientes de demanda média sem tendência e com poucas oscilações, como no cenário A, se o Estoque Alvo (*Target Level – TL*) estiver parametrizado com uma quantidade boa o suficiente e os algoritmos do DBM estiverem desativados, então o sistema terá bom desempenho para os três indicadores, como é o caso do tratamento A-25. No cenário B, como a variabilidade era alta, mas o comportamento médio da demanda não era alterado, o tratamento B-27 foi capaz de fornecer um

índice de FR superior a alguns tratamentos que estavam com o DBM ativado. Esse resultado se respalda em Schragenheim, E. (2013b), pois o efeito de uma variabilidade maior fez com que algumas combinações de algoritmos e parâmetros do DBM recomendassem ajustes indevidos tanto no sentido de aumentar o TL, quanto para diminuí-lo.

Em contrapartida, nos cenários C e D, em que as médias das demandas possuíam tendências sazonais, não ter o DBM ativado causou impactos negativos na performance do sistema, pois os níveis de TL dos tratamentos 25, 26 e 27 não foram ajustados quando o padrão da demanda alterou. Schragenheim, A. (2013) afirma que se a demanda sofrer efeitos de sazonalidades, não importa se elas forem previsíveis ou imprevisíveis, o DBM deve ser altamente empregado para fornecer assistência aos gestores nas decisões sobre o gerenciamento dos estoques.

Do ponto de vista acadêmico, conclui-se que esta pesquisa contribui para a literatura de gestão de estoques em cadeias de suprimentos, para a literatura da TOC em geral e especificamente para o método DBM. O estudo que identifica os algoritmos e parâmetros utilizados na técnica DBM por praticantes da TOC e os simula de forma combinada sob diferentes comportamentos da demanda é inédito, e pode servir de referência para futuras pesquisas sobre aplicações dos conceitos da TOC em cadeias de suprimentos.

Esta dissertação também possui implicações gerenciais, uma vez que pode orientar gestores e praticantes durante as atividades de dimensionamento e gestão de estoques em cadeias de suprimentos, oferecer apoio sobre quando operacionalizar com os algoritmos do DBM ligados ou desligados e servir de fundamento para o desenvolvimento de *softwares* que contemplem os conceitos da TOC aplicada em cadeias de suprimentos.

Esta pesquisa possui limitações referentes ao método e escopo do modelo utilizado, pois as simulações foram realizadas com poucas variáveis, sendo que a ênfase foi dada apenas para um integrante da cadeia de suprimentos, um produto e em cenários com dados fictícios de demanda e tempo de reposição gerados por meio de distribuições de probabilidade no *software* Promodel.

Portanto, com base nas limitações desta dissertação, futuras pesquisas poderiam abordar o método DBM na forma de estudo de caso ou pesquisa ação para avaliar o seu desempenho em ambientes reais sob a influência de todas as variabilidades presentes nas cadeias de suprimentos. Vale dizer que os algoritmos do

DBM não levam em consideração os custos das decisões tomadas, dado que a decisão e a avaliação de custos são responsabilidades do gestor responsável.

Como este estudo se limitou a apenas um produto e um elo da cadeia de suprimentos, novos trabalhos poderiam simular ambientes reais com mais locais e entidades de uma cadeia de suprimentos e também explorar o uso dos estoques e pulmões virtuais apresentados na seção 2.4. Por fim, após a apresentação e discussão dos resultados desta pesquisa, fica evidente que o método DBM apresenta limitações em determinadas situações e, portanto, existem oportunidades para a exploração dessas limitações e a proposição de métodos que visem melhorar a técnica.



## REFERÊNCIAS

- ABDELSALAM, H. M.; MAGDY, M.; ALSHAAR, A. M. **Optimal Location of New Distribution Center in Supply Chain Network Design with Varying Inventory Capacity**. Intelligent Systems Reference Library, v. 38, 2013.
- BANKS, J.; CARSON II, J. S.; NELSON, B. L.; NICOL, D. M. **Discrete-event system simulation**. Prentice Hall, 2004.
- BARNARD, A. Melhoria contínua e auditoria. In: COX III, J. F.; SCHLEIER, J. G. (Orgs.). **Handbook da Teoria das Restrições**. Tradução de Beth Honorato, revisão técnica de Daniel Pacheco Lacerda et al. 1 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. cap. 15, p. 413-468.
- BARNARD, A.; IMMELMAN, R. E. Estudos de caso sobre implementações holísticas da TOC: constatações nos setores público e privado. In: COX III, J. F., SCHLEIER, J. G. (Orgs.). **Handbook da Teoria das Restrições**. Tradução de Beth Honorato, revisão técnica de Daniel Pacheco Lacerda et al. 1 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. cap. 16, p. 469-514.
- BATEMAN, R. E.; BOWDEN, R. G.; GOGG, T. J.; HARRELL, C. R.; MOTT, J. R. A.; MONTEVECHI, J. A. B. **Simulação de sistemas**: aprimorando processos de logística, serviços e manufatura. 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.
- BASHIRI, M.; TABRIZI, M. M. Supply chain design: A holistic approach. **Expert Systems with Applications**, v. 37, n. 1, p. 688-693, 2010.
- BECKER, J.; HARTMANN, W.; BERTSCH, S.; NYWLT, J.; SCHMIDT, M. Dynamic Safety-Stock Calculation. **World Academy of Science, Engineering and Technology, International Science Index 82, International Journal of Mechanical, Industrial Science and Engineering**, v. 7, n. 10, p. 781-785, 2013.
- BLACKSTONE, J. H. Theory of Constraints – A status report. **International Journal of Production Research**, v. 39, n. 6, p. 1053-1080, 2001.
- BLACKSTONE, J. H. (Ed.). **APICS Dictionary**. 14 ed. Chicago: APICS – The Association for Operations Management, 2013a.
- BLACKSTONE, J. H. Revisão de literatura sobre tambor-pulmão-corda, gerenciamento de pulmões e distribuição. In: COX III, J. F., SCHLEIER, J. G. (Orgs.). **Handbook da Teoria das Restrições**. Tradução de Beth Honorato, revisão técnica de Daniel Pacheco Lacerda et al. 1 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013b. cap. 7, p. 151-178.
- BUESTÁN BENAVIDES, M.; VAN LANDEGHEM, H. Implementation of S-DBR in four manufacturing SMEs: a research case study. **Production Planning & Control**, v. 26, n. 13, p. 1110-1127, 2015.

CANEVER, M. D.; TRIJP, H. C. M. V.; BEERS, G. The emergent demand chain management: key features and illustration from the beef business. **Supply Chain Management: An International Journal**, v. 13, n. 2, p. 104-115, 2008.

CHAKRAVORTY, S. S.; HALES, D. N. Improving labour relations performance using a Simplified Drum Buffer Rope (S-DBR) technique. **Production Planning & Control**, v. 27, n. 2, p. 102-113, 2016.

CHANG, K. H.; CHANG, Y. C.; CHANG, Y. S. Applying theory of constraints-based approach to solve memory allocation of cloud storage. **International Journal of Systems Science: Operations & Logistics**, v. 4, n. 4, p. 311-329, 2017.

CHANG, Y. C.; CHANG, K. H.; HUANG, C. W. Integrate market demand forecast and demand-pull replenishment to improve the inventory management effectiveness of wafer fabrication. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture**, v. 228, n. 4, p. 617-636, 2014.

CHANG, Y. C.; CHANG, K. H.; SUN, W. C. Enhancement of Inventory Management for the Wafer Manufacturing Industry by Combining Market Demand Forecast and Demand-Pull Replenishment. **Journal of Testing and Evaluation**, v. 43, n. 4, p. 948-963, 2015.

CHANG, Y. C.; HUANG, W. T. A modification of simplified drum-buffer-rope for re-entrant flow shop scheduling. **Information Technology Journal**, v. 10, n. 1, p. 40-50, 2011.

CHANG, Y. C.; HUANG, W. T. An enhanced model for SDBR in a random reentrant flow shop environment. **International Journal of Production Research**, v. 52, n. 6, p. 1808-1826, 2014.

CIMINO, A.; LONGO, F.; MIRABELLI, G. A General Simulation Framework for Supply Chain Modeling: State of the Art and Case Study. **International Journal of Computer Science Issues**, v. 7, n. 2, 2010.

CLOSS, D. J.; NYAGA, G. N.; VOSS, M. D. The differential impact of product complexity, inventory level, and configuration capacity on unit and order fill rate performance. **Journal of Operations Management**, v. 28, n. 1, p. 47-57, 2010.

COX III, J. F.; BOYD, L. H.; SULLIVAN, T. T.; REID, R. A.; CARTIER, B. **The Theory of Constraints International Certification Organization Dictionary**. 2 ed. 2012.

COX III, J. F.; SCHLEIER, J. G. (Orgs.). **Handbook da Teoria das Restrições**. Tradução de Beth Honorato, revisão técnica de Daniel Pacheco Lacerda et al. 1 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

DAVIS, J. P.; EISENHARDT, K. M.; BINGHAM, C. B. Developing theory through simulation methods. **Academy of Management Review**, v. 32, n. 2, p. 480-499, 2007.

GAUR, V.; FISHER, M. L.; RAMAN, A. An econometric analysis of inventory turnover performance in retail services. **Management science**, v. 51, n. 2, p. 181-194, 2005.

GOLDRATT, E. M. Computerized shop floor scheduling. **International Journal of Production Research**, v. 26, n. 3, p. 443-455, 1988.

GOLDRATT, E. M. **What is this thing called theory of constraints and how should it be implemented?**. Great Barrington: North River Press, 1990.

GOLDRATT, E. M. **A síndrome do palheiro**: garimpando informação num oceano de dados. Tradução de Claudiney Fullmann. São Paulo: IMAM, 1991.

GOLDRATT, E. M. **Corrente Crítica**. Tradução de Thomas Corbett Neto. São Paulo: Nobel, 1998.

GOLDRATT, E. M. **Não é sorte**. Tradução de Thomas Corbett Neto. São Paulo: Nobel, 2004.

GOLDRATT, E. M. Viable Vision. **Goldratt Consulting**, 2005.

GOLDRATT, E. M. **A meta na prática**: livro de exercícios da TOC. Tradução de Maria Lúcia Cumo, revisão técnica de Thomas Corbett e Goldratt Consulting. São Paulo: Nobel, 2007.

GOLDRATT, E. M. **A escolha**. Tradução de Thomas Corbett Neto. São Paulo: Nobel, 2013a.

GOLDRATT, E. M. Introdução à TOC: minha visão. In: COX III, J. F.; SCHLEIER, J. G. (Orgs.). **Handbook da Teoria das Restrições**. Tradução de Beth Honorato, revisão técnica de Daniel Pacheco Lacerda et al. 1 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013b. cap. 1, p. 3-9.

GOLDRATT, E. M.; COX, J. **A meta**: um processo de melhoria contínua. Tradução de Thomas Corbett. 3 ed (Edição comemorativa 30 anos). São Paulo: Nobel, 2014.

GOLDRATT, E. M.; ESHKOLI, I.; BROWNLEER, J. **Não é óbvio?**: a Teoria das Restrições (TOC) em uma história do mundo dos negócios. Tradução de Thomas Corbett Neto. São Paulo: Nobel, 2011.

GOLDRATT, E. M.; FOX, R. E. **A corrida pela vantagem competitiva**. Tradução de Claudiney Fullmann. São Paulo: IMAM, 1992.

GOLDRATT, E. M.; GOLDRATT, R. TOC insights into distribution and supply chain. **Goldratt's Marketing Group**, 2003.

GOLDRATT, E. M.; SCHRAGENHEIM, E.; PTAK, C. A. **Necessária, sim, mas não suficiente**: uma história baseada na Teoria das Restrições. Tradução de Thomas Corbett Neto. São Paulo: Nobel, 2007.

GOLDRATT, E. M.; ZIMMERMAN, D. J. **The goal**: a business graphic novel. Great Barrington: North River Press, 2017.

GUPTA, M. C.; ANDERSEN, S. Throughput/inventory dollar-days: TOC-based measures for supply chain collaboration. **International Journal of Production Research**, p. 1-17, 2018.

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.

GOLMOHAMMADI, D. A study of scheduling under the theory of constraints. **International Journal of Production Economics**, v. 165, p. 38-50, 2015.

HANÇERLIOĞULLARI, G.; ŞEN, A.; AKTUNÇ, E. A. Demand uncertainty and inventory turnover performance: an empirical analysis of the US retail industry. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 46, n. 6/7, p. 681-708, 2016.

HANWU, M.; YAN, L. Research on Multi-Agent container terminal logistics operation scheduling system based on TOC. In: **Computer and Automation Engineering (ICCAE), 2010 The 2nd International Conference on**. IEEE, 2010. p. 213-216, 2010.

HARRELL, C.; GHOSH, B. K.; BOWDEN, R. **Simulation Using Promodel**. Mc Graw Hill, 2000.

HAYLETT, R. OPT---production control with a difference. **Production Engineer**, v. 65, n. 5, p. 34-38, 1986.

HOLT, J. R. Managing complex organizations: a simplified approach. **American Society for Engineering Management 2013 International Annual Conference**. ASEM, 2013. p. 285-290, 2013.

HOLWEG, M.; DISNEY, S.; HOLMSTRÖM, J.; SMÅROS, J. Supply chain collaboration:: Making sense of the strategy continuum. **European Management Journal**, v. 23, n. 2, p. 170-181, 2005.

HOPP, W. J.; SPEARMAN, M. L. **Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management International Edition**. Burr Ridge: Irwin McGraw-Hill, 2000.

HSIEH, C. C.; LU, Y. T. Manufacturer's return policy in a two-stage supply chain with two risk-averse retailers and random demand. **European Journal of Operational Research**, v. 207, n. 1, p. 514-523, 2010.

HUANG, C. L.; LI, R. K.; TSAI, C. H.; CHUNG, Y. C.; SHIH, C. H. A Comparative Study of Pull and Push Production Methods for Supply Chain Resilience. **International Journal of Operations and Logistics Management**, v. 3, n. 1, p. 1-15, 2014.

HUANG, M. G. Economic ordering model for deteriorating items with random demand and deterioration. **International Journal of Production Research**, v. 51, n. 18, p. 5612-5624, 2013.

JACOBS, F. R. OPT uncovered: many production planning and scheduling concepts can be applied with or without the software. **Industrial Engineering**, v. 16, n. 10, p. 32-41, 1984.

JAMMERNEGG, W.; REINER, G. Performance improvement of supply chain processes by coordinated inventory and capacity management. **International Journal of Production Economics**, v. 108, n. 1, p. 183-190, 2007.

JANSSENS, G. K.; RAMAEKERS, K. M. A linear programming formulation for an inventory management decision problem with a service constraint. **Expert Systems with Applications**, v. 38, n. 7, p. 7929-7934, 2011.

JURADO, I; MAESTRE, J. M.; VELARDE, P.; OCAMPO-MARTINEZ, C.; FERNANDEZ, I.; TEJERA, B. I.; DEL PRADO, J. R. Stock management in hospital pharmacy using chance-constrained model predictive control. **Computers in biology and medicine**, v. 72, p. 248-255, 2016.

KENDALL, G. Estratégia da teoria das restrições. In: COX III, J. F.; SCHLEIER, J. G. (Orgs.). **Handbook da Teoria das Restrições**. Tradução de Beth Honorato, revisão técnica de Daniel Pacheco Lacerda et al. 1 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. cap. 18, p. 535-567.

KIM, S.; MABIN, V. J.; DAVIES, J. The theory of constraints thinking processes: retrospect and prospect. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 28, n. 2, p. 155-184, 2008.

KLEIJNEN, J. P. C.; SMITS, M. T. Performance metrics in supply chain management. **Journal of the Operational Research Society**, v. 54, n. 5, p. 507-514, 2003.

KOUMANAKOS, D. P. The effect of inventory management on firm performance. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 57, n. 5, p. 355-369, 2008.

LARSEN, C.; THORSTENSON, A. The order and volume fill rates in inventory control systems. **International Journal of Production Economics**, v. 147, p. 13-19, 2014.

LEE, J. H.; CHANG, J. G.; TSAI, C. H.; LI, R. K. Research on enhancement of TOC Simplified Drum-Buffer-Rope system using novel generic procedures. **Expert Systems with Applications**, v. 37, n. 5, p. 3747-3754, 2010.

LOWALEKAR, H.; RAVI, R. R. Revolutionizing blood bank inventory management using the TOC thinking process: An Indian case study. **International Journal of Production Economics**, v. 186, p. 89-122, 2017.

LU, M.; WONG, L. Comparison of two simulation methodologies in modeling construction systems: Manufacturing-oriented PROMODEL vs. construction-oriented SDESA. **Automation in Construction**, v. 16, n. 1, p. 86-95, 2007.

MATEEN, A.; MORE, D. Applying TOC thinking process tools in managing challenges of supply chain finance: a case study. **International Journal of Services and Operations Management**, v. 15, n. 4, p. 389-410, 2013.

NAOR, M.; BERNARDES, E. S.; COMAN, A. Theory of constraints: is it a theory and a good one?. **International Journal of Production Research**, v. 51, n. 2, p. 542-554, 2013.

PARK, C. L.; PAIVA, E. L. How do national cultures impact the operations strategy process?. **International Journal of Operations & Production Management**, 2018.

PÉREZ, J. L. TOC for world class global supply chain management. **Computers & Industrial Engineering**, v. 33, n. 1-2, p. 289-293, 1997.

PIRES, S. R. I. **Gestão da Cadeia de Suprimentos: conceitos, estratégias, práticas e casos.** (Supply Chain Management). 2 ed. 5. Reimpr. São Paulo: Atlas, 2011.

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.

PRETORIUS, P. Introducing in-between decision points to TOC's five focusing steps. **International Journal of Production Research**, v. 52, n. 2, p. 496-506, 2014.

PROMODEL CORPORATION. **ProModel 2014 User Guide.** ProModel Corporation, 2015.

PUCHE, J.; PONTE, B.; COSTAS, J.; PINO, R.; DE LA FUENTE, D. Systemic approach to supply chain management through the viable system model and the theory of constraints. **Production Planning & Control**, v. 27, n. 5, p. 421-430, 2016.

RAHMAN, S. The theory of constraints' thinking process approach to developing strategies in supply chains. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 32, n. 10, p. 809-828, 2002.

RAND, G. K. Critical chain: the theory of constraints applied to project management. **International Journal of Project Management**, v. 18, n. 3, p. 173-177, 2000.

ROH, J. J.; HONG, P. Taxonomy of ERP integrations and performance outcomes: an exploratory study of manufacturing firms. **Production Planning & Control**, v. 26, n. 8, p. 617-636, 2015.

ROSSI FILHO, T. A.; PACHECO, D. A. J.; PERGHER, I.; ANTUNES, J. A. V; VACCARO, G. L. R. A Reference Approach to Deploy the Solution of Logistics Theory of Constraints. **Espacios**, v. 34, n. 7, 2013.

ROSSI FILHO, T. A.; PACHECO, D. A. J.; PERGHER, I.; VACCARO, G. L. R.; ANTUNES, J. A. V. A new approach for decision making in distribution supply chains:

a theory of constraints perspective. **International Journal of Logistics Systems and Management**, v. 25, n. 2, p. 266-282, 2016.

SANDANAYAKE, Y. G.; ODUOZA, C. F.; PROVERBS, D. G. A systematic modelling and simulation approach for JIT performance optimisation. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 24, n. 6, p. 735-743, 2008.

SCHRAGENHEIM, A. Managing distribution according to TOC principles. **Inherent Simplicity**, 2007.

SCHRAGENHEIM, A. Gerenciamento da cadeia de suprimentos. In: COX III, J. F.; SCHLEIER, J. G. (Orgs.). **Handbook da Teoria das Restrições**. Tradução de Beth Honorato, revisão técnica de Daniel Pacheco Lacerda et al. 1 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. cap. 11, p. 274-311.

SCHRAGENHEIM, E. Make-to-stock under drum-buffer-rope and buffer management methodology. In: **Proceedings of the international conference—the educational society for resource management (APICS)**, Nashville, TN. 2002.

SCHRAGENHEIM, E. Make to availability and beyond. In: **TOCICO International Conference, Las Vegas**, Nevada. 2007.

SCHRAGENHEIM, E. Do TPC ao TPC simplificado na produção sob encomenda. In: COX III, J. F.; SCHLEIER, J. G. (Orgs.). **Handbook da Teoria das Restrições**. Tradução de Beth Honorato, revisão técnica de Daniel Pacheco Lacerda et al. 1 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013a. cap. 9, p. 217-245.

SCHRAGENHEIM, E. Gerenciamento da produção para estoque e o conceito de produção sob encomenda. In: COX III, J. F.; SCHLEIER, J. G. (Orgs.). **Handbook da Teoria das Restrições**. Tradução de Beth Honorato, revisão técnica de Daniel Pacheco Lacerda et al. 1 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013b. cap. 10, p. 246-273.

SCHRAGENHEIM, E.; BURKHARD, R. Drum Buffer Rope and Buffer Management in a Make-to-Stock Environment. **Idea Rethinking Retail**, 2007.

SCHRAGENHEIM, E.; DETTMER, H. W. **Manufacturing at Warp Speed: Optimizing Supply Chain Financial Performance**. 1 ed. Boca Raton, FL: The St Lucie Press, 2001.

SCHRAGENHEIM, E.; DETTMER, H. W.; PATTERSON, J. W. **Supply Chain Management at Warp Speed**. Boca Raton: Taylor & Francis, 2009.

SHEN, L.; REN, Y.; XIONG N.; LI, H.; CHEN, Y. Why small towns can not share the benefits of urbanization in China?. **Journal of Cleaner Production**, v. 174, p. 728-738, 2018.

SIMATUPANG, T. M.; WRIGHT, A. C.; SRIDHARAN, R. Applying the theory of constraints to supply chain collaboration. **Supply chain Management: an international journal**, v. 9, n. 1, p. 57-70, 2004.

SONG, J. S. On the order fill rate in a multi-item, base-stock inventory system. **Operations Research**, v. 46, n. 6, p. 831-845, 1998.

SOUZA, F. B.; BAPTISTA, H. R. Proposta de avanço para o método Tambor-Pulmão-Corda Simplificado aplicado em ambientes de produção sob encomenda. **Gestão & Produção**, v. 17, n. 4, p. 735-746, 2010.

SOUZA, F. B.; PIRES, S. R. I. Theory of constraints contributions to outbound logistics. **Management Research Review**, v. 33, n. 7, p. 683-700, 2010.

SOUZA, F. B.; PIRES, S. R. I. Produzindo para disponibilidade: uma aplicação da Teoria das Restrições em ambientes de produção para estoque. **Gestão & Produção**, v. 21, p. 65-76, 2014.

STEYN, H. Project management applications of the theory of constraints beyond critical chain scheduling. **International Journal of Project Management**, v. 20, n. 1, p. 75-80, 2002.

SUN, R.; LENG, K. Inventory Control Policy for E-tail Organizations Based on TOC. **Information Technology Journal**, v. 12, n. 24, p. 8171, 2013.

TECHT, U. **Goldratt and the Theory of Constraints: The Quantum Leap in Management**. Columbia University Press, 2014.

TOMARKEN, A. J.; SERLIN, R. C. Comparison of ANOVA alternatives under variance heterogeneity and specific noncentrality structures. **Psychological Bulletin**, v. 99, n. 1, p. 90, 1986.

TROQUE, W. A.; PIRES, S. R. I. Influência das práticas da Gestão da Cadeia de Suprimentos na Gestão da Demanda. **XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção-ENEGEP**, 2003.

WALKER, W. T. Practical application of drum-buffer-rope to synchronize a two-stage supply chain. **Production and Inventory Management Journal**, v. 43, n. 3/4, p. 13, 2002.

WAN, X.; EVERS, P. T. Supply chain networks with multiple retailers: a test of the emerging theory on inventories, stockouts, and bullwhips. **Journal of Business Logistics**, v. 32, n. 1, p. 27-39, 2011.

WANG, L. C.; CHENG, C. Y.; TSENG, Y. T.; LIU, Y. F. 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. J.; BLACKSTONE, J. H.; GARDINER, S. C. The evolution of a management philosophy: The theory of constraints. **Journal of Operations Management**, v. 25, n. 2, p. 387-402, 2007.



- WATSON, K. J.; POLITO, T. Comparison of DRP and TOC financial performance within a multi-product, multi-echelon physical distribution environment. **International Journal of Production Research**, v. 41, n. 4, p. 741-765, 2003.
- WU, H. H.; CHEN, C. P.; TSAI, C. H.; TSAI, T. P. A study of an enhanced simulation model for TOC supply chain replenishment system under capacity constraint. **Expert Systems with Applications**, v. 37, n. 9, p. 6435-6440, 2010a.
- WU, H. H.; CHEN, C. P.; TSAI, C. H.; YANG, C. J. Simulation and scheduling implementation study of TFT-LCD Cell plants using Drum-Buffer-Rope system. **Expert Systems with Applications**, v. 37, n. 12, p. 8127-8133, 2010b.
- WU, H. H.; LIAO, M. Y.; TSAI, C. H.; TSAI, S. C.; LU, M. J.; TSAI, T. P. A study of theory of constraints supply chain replenishment system. **International Journal of Academic Research in Accounting Finance and Management Sciences**, v. 3, n. 3, p. 82-92, 2013.
- YUAN, K. J.; CHANG, S. H.; LI, R. K. Enhancement of theory of constraints replenishment using a novel generic buffer management procedure. **International Journal of Production Research**, v. 41, n. 4, p. 725-740, 2003.
- ZEMZAM, A.; MAATAOUI, M. E.; HLYAL, M.; ALAMI, J. E.; ALAMI, N. E. Inventory management of supply chain with robust control theory: literature review. **International Journal of Logistics Systems and Management**, v. 27, n. 4, p. 438-465, 2017.
- ZENG, A. Z.; HAYYA, J. C. The performance of two popular service measures on management effectiveness in inventory control. **International Journal of Production Economics**, v. 58, n. 2, p. 147-158, 1999.



```

}
}

Else

{
Inc vContadora_Dias_de_Demanda

If vContadora_Dias_de_Demanda = vPeríodo_Entre_Mudanças_na_Demanda + 1 Then

{
vDemanda_Média = vDemanda_Média * (1 + vTendência_Redução_Demanda/100)

vContadora_Dias_de_Demanda = 1
}
}
} //Algoritmo para incluir tendências na demanda gerada em função do tempo decorrido de simulação.

vDesvio_Padrão_Demanda = vCV_Demanda * vDemanda_Média

mMatriz[vLinha_Matriz,19] = vDemanda_Média
mMatriz[vLinha_Matriz,20] = vDesvio_Padrão_Demanda

vDemanda=L(vDemanda_Média,vDesvio_Padrão_Demanda,1) //Gera um valor de demanda.

vEstoque_Armazém = Contents(Armazém,Produto)

If vLinha_Matriz = 1 Then //Condições para o primeiro dia de simulação. Demanda negativa é igual a
zero e demanda maior que o estoque do armazém é igual ao estoque do armazém.

{
If vDemanda < 0 Then

{
vDemanda = 0
}

mMatriz[vLinha_Matriz,7] = vDemanda //Grava os dados da demanda gerada na matriz.
mMatriz[vLinha_Matriz,14] = vDemanda
mMatriz[vLinha_Matriz,17] = vDemanda

If vDemanda > vEstoque_Armazém Then

{
vDemanda = vEstoque_Armazém
SEND vDemanda Produto TO Inspeção
JOIN vDemanda Produto
}

Else

{
SEND vDemanda Produto TO Inspeção
JOIN vDemanda Produto
}

mMatriz[vLinha_Matriz,1] = vDemanda //Grava os dados da demanda na matriz.
mMatriz[vLinha_Matriz,18] = mMatriz[vLinha_Matriz,7] - mMatriz[vLinha_Matriz,1]
}

```

Else // Condições de demanda para os demais dias de simulação.

```
{
If vDemanda < 0 Then
```

```
{
vDemanda = 0
}
```

```
mMatriz[vLinha_Matriz,7] = vDemanda //Grava os dados da demanda gerada na matriz.
mMatriz[vLinha_Matriz,14] = vDemanda + mMatriz[vLinha_Matriz-1,14]
mMatriz[vLinha_Matriz,17] = vDemanda + mMatriz[vLinha_Matriz-1,18]
```

```
If mMatriz[vLinha_Matriz,17] > vEstoque_Armazém Then
```

```
{
mMatriz[vLinha_Matriz,1] = vEstoque_Armazém
```

```
SEND mMatriz[vLinha_Matriz,1] Produto TO Inspeção
JOIN mMatriz[vLinha_Matriz,1] Produto
```

```
mMatriz[vLinha_Matriz,18] = mMatriz[vLinha_Matriz,17] - mMatriz[vLinha_Matriz,1]
}
```

Else

```
{
SEND mMatriz[vLinha_Matriz,17] Produto TO Inspeção
JOIN mMatriz[vLinha_Matriz,17] Produto
```

```
mMatriz[vLinha_Matriz,1] = mMatriz[vLinha_Matriz,17] //Grava os dados da demanda na matriz.
mMatriz[vLinha_Matriz,18] = 0
}
}
```

```
1 Pedido EXIT FIRST 1
```

Pedido Ent\_Pedido //O Pedido chega no local Ent\_Pedido a cada 8 horas (uma vez por dia) e se movimentada para a expedição durante 8 horas.

```
1 Pedido Expedição FIRST 1 Move For 28798 sec
```

Lote Recebimento //Desagrupa a entidade Lote em entidades Produtos no valor do pedido de reposição.

Ungroup

Lote Fornecedor //Estabelece o tempo que a entidade Lote levará para chegar no local Recebimento (tempo de reposição).

```
1 Lote Recebimento FIRST 1 vTempo_Reposição =
L(vTempo_Reposição_Médio,vDesvio_Padrão_Tempo_Reposição,2)
```

```
mMatriz[vLinha_Matriz,2]=vTempo_Reposição
```

Move for vTempo\_Reposição hr

Produto Recebimento //Envia os produtos dos pedidos de reposição para o local Armazém.

```
vSubtrai_On_Way = Contents(Recebimento)
```

```
vOn_Way = vOn_Way - vSubtrai_On_Way
```

```
1 Produto Armazém FIRST 1
```

Status Buffer\_Status //Atualiza as cores da animação do status do pulmão.

```
Wait 28801 sec 1 Status EXIT FIRST 1
```

Produto Fornecedor //Agrupa as entidades Produtos em uma entidade Lote (pedido de reposição).

Group vPedido\_Reposição As Lote

```
*****
*                               *
*                               *
*****
```

Entidade Local      Quantidade    Primeira Vez    Ocorrências    Freqüência Lógica

```
-----
Produto Armazém      600      0      1      //Parâmetros para o início da simulação:
estoque alvo inicial, tempo médio de suprimento, demanda média e desvios das distribuições de
demanda e tempo de reposição.
```

vMax\_Target\_Level = 100000000

vTarget\_Level = 600 //Estoque Alvo inicial do armazém (se o algoritmo do Dynamic Buffer Management estiver desligado, este será o estoque máximo do armazém).

vDemanda\_Média = 100 //Média da demanda gerada por meio da distribuição Lognormal.

vCV\_Demanda = 0.3 //Coeficiente de Variação da demanda gerada por meio da distribuição Lognormal.

vTendência\_Aumento\_Demanda = 0 //Valor em porcentagem (10 significa um aumento de 10% na vDemanda\_Média, enquanto -10 significa uma redução de 10% na vDemanda\_Média).

vTendência\_Redução\_Demanda = 0 //Valor em porcentagem (10 significa um aumento de 10% na vDemanda\_Média, enquanto -10 significa uma redução de 10% na vDemanda\_Média).

vPeríodo\_Entre\_Mudanças\_na\_Demanda = 30 //Valor em dias (30 significa que a cada 30 dias, a vDemanda\_Média é influenciada pela vTendência\_Aumento\_Demanda).

vTempo\_Reposição\_Médio = 24 //Valor em horas e em múltiplo de 8 para representar os dias de simulação.

vDesvio\_Padrão\_Tempo\_Reposição = 8 //Valor em horas e em múltiplo de 8 para representar os dias de simulação.

vWarmup = 100 //Período em que os indicadores e os dias para as mudanças na demanda não serão calculados.

Pedido Ent\_Pedido 1      0      inf      8 hr      Inc vLinha\_Matriz

mMatriz[vWarmup,14] = 0 //Início do cálculo da demanda acumulada para obter os indicadores

vEstoque\_Armazém = Contents(Armazém,Produto)

vBuffer\_Status = Contents(Armazém,Produto)/vTarget\_Level\*100

vTempo\_Aux=Clock(hr) //Atualiza o relógio da simulação.

mMatriz[vLinha\_Matriz,3] = vEstoque\_Armazém //Grava o estoque do armazém, o status do pulmão e o estoque alvo na matriz.

mMatriz[vLinha\_Matriz,4] = vBuffer\_Status

mMatriz[vLinha\_Matriz,5] = vTarget\_Level

If vTempo\_Aux >= vTempo\_Reposição\_Médio Then //Aguarda até que o tempo de simulação alcance o tempo médio de reposição.

```
{
If vTarget_Level > mMatriz[vLinha_Matriz-2,5] Then //Período de congelamento para o TMR.
```

```
{
vDia_do_TMR = vLinha_Matriz - 1
```

```
vEspera = mMatriz[vLinha_Matriz-1,2]/8
```

```
}
```

```

If vTarget_Level < mMatriz[vLinha_Matriz-2,5] Then //Período de congelamento para o TMG.

{
vDia_do_TMG = vLinha_Matriz - 1
}

If vDia_do_TMR + vEspera + vTempo_Reposição_Médio/8 > vLinha_Matriz Or vDia_do_TMG +
vTempo_Reposição_Médio/8 > vLinha_Matriz Or vBuffer_Status > 100 Then //Condições que
desativam a análise dos status do pulmão.

{

}

Else //Algoritmo para o gerenciamento do pulmão dinâmico.
{//Algoritmo para contagem de TMR e TMG dentro de um tempo de reposição.
vContadora_Dia_para_Análise = 0
vContadora_Verde = 0
vContadora_Vermelho = 0

While vTempo_Reposição_Médio/8 > vContadora_Dia_para_Análise Do

{
Inc vContadora_Dia_para_Análise

vAnálise_Status_no_Dia=vLinha_Matriz-((vTempo_Reposição_Médio/8)-
vContadora_Dia_para_Análise)

If mMatriz[vAnálise_Status_no_Dia,4] > 100 Then

{

}

Else

{

If mMatriz[vAnálise_Status_no_Dia,4] <= 33 Then

{
Inc vContadora_Vermelho
}

}

If mMatriz[vAnálise_Status_no_Dia,4] > 66 Then

{
Inc vContadora_Verde
}
}

}

If vContadora_Verde = (vTempo_Reposição_Médio/8) Then

{
vTarget_Level = vTarget_Level - (vTarget_Level / 3)

}

If vContadora_Vermelho = (vTempo_Reposição_Médio/8) Then

{
vTarget_Level = vTarget_Level + (vTarget_Level / 3)
}

```

```

vBuffer_Status = Contents(Armazém,Produto)/vTarget_Level*100
mMatriz[vLinha_Matriz,5] = vTarget_Level

} //Algoritmo para contagem de TMR e TMG dentro de um tempo de reposição.

}

If vTarget_Level > vMax_Target_Level Then

{
vTarget_Level = vMax_Target_Level
vBuffer_Status = Contents(Armazém,Produto)/vTarget_Level*100
mMatriz[vLinha_Matriz,5] = vTarget_Level
}

mMatriz[vLinha_Matriz,4] = vBuffer_Status

If vLinha_Matriz > vWarmup + 1 Then

{
If mMatriz[vLinha_Matriz-1,1] = mMatriz[vLinha_Matriz-1,17] Then

{
vAtendimento = 1
mMatriz[vLinha_Matriz-1,8] = vAtendimento
vContadora_Atendimento = vContadora_Atendimento + vAtendimento
mMatriz[vLinha_Matriz-1,10] = vContadora_Atendimento
}

Else

{
vAtendimento = 0
mMatriz[vLinha_Matriz-1,8] = vAtendimento
vContadora_Atendimento = vContadora_Atendimento + vAtendimento
mMatriz[vLinha_Matriz-1,10] = vContadora_Atendimento
}

vDemanda_Atendida_No_Prazo = mMatriz[vLinha_Matriz-1,7] - mMatriz[vLinha_Matriz-1,18]

If vDemanda_Atendida_No_Prazo < 0 Then

{
vDemanda_Atendida_No_Prazo = 0
}

mMatriz[vLinha_Matriz-1,9] = vDemanda_Atendida_No_Prazo

vContadora_Demanda_Atendida_No_Prazo = vContadora_Demanda_Atendida_No_Prazo +
vDemanda_Atendida_No_Prazo
mMatriz[vLinha_Matriz-1,11] = vContadora_Demanda_Atendida_No_Prazo

vFill_Rate = (vContadora_Demanda_Atendida_No_Prazo / mMatriz[vLinha_Matriz-1,14]) * 100

mMatriz[vLinha_Matriz-1,12] = vFill_Rate

vOn_Time_In_Full = (vContadora_Atendimento / (vLinha_Matriz - (vWarmup + 1))) * 100

```

```
mMatriz[vLinha_Matriz-1,13] = vOn_Time_In_Full
}
```

```
vPedido_Reposição = 0
```

```
If vBuffer_Status >= 100 Then //Se o status do pulmão for maior ou igual a 100%, nenhum pedido de reposição é realizado.
```

```
{
}
```

```
Else
```

```
{
If vLinha_Matriz = 1 Then //No primeiro dia de simulação, o pedido de reposição é feito no valor da demanda nesse dia.
```

```
{
vPedido_Reposição = vTarget_Level - vEstoque_Armazém
}
```

```
Else
```

```
{
vPedido_Reposição = vTarget_Level - mMatriz[vLinha_Matriz,3] - vOn_Way
}
}
```

```
If vPedido_Reposição < 0 Then
```

```
{
vPedido_Reposição=0
}
```

```
Order vPedido_Reposição Produto To Fornecedor //Pedido de reposição.
```

```
mMatriz[vLinha_Matriz,6] = vPedido_Reposição //Grava o pedido de reposição na matriz.
```

```
vOn_Way = vOn_Way + vPedido_Reposição
```

```
mMatriz[vLinha_Matriz,15] = vOn_Way //Grava os dados do estoque em trânsito na matriz.
```

```
mMatriz[vLinha_Matriz,16] = mMatriz[vLinha_Matriz,15] + mMatriz[vLinha_Matriz,3] //Grava os dados do estoque no sistema (armazém + em trânsito) na matriz.
```

```
Status Buffer_Status 1 28802 sec inf 28802 sec //Mostra a cor do status do pulmão durante a simulação.
```

```
If vBuffer_Status <= 33 Then
```

```
{Graphic 3} Else
```

```
If vBuffer_Status > 66 Then
```

```
{Graphic 1} Else
```

```
{Graphic 2}
```



\*\*\*\*\*  
 \* Variáveis (globais) \*  
 \*\*\*\*\*

Nome	Tipo	Valor Inicial	Estatísticas
vDemanda	Inteiro	0	Série de Tempo
vLinha_Matriz	Inteiro	0	Série de Tempo
vTempo_Aux	Inteiro	0	Série de Tempo
vTempo_Reposição	Inteiro	0	Série de Tempo
vEstoque_Armazém	Inteiro	0	Série de Tempo
vBuffer_Status	Inteiro	0	Série de Tempo
vTempo_Reposição_Médio	Inteiro	0	Série de Tempo
vDemanda_Média	Real	0	Série de Tempo
vDesvio_Padrão_Demanda	Real	0	Série de Tempo
vContadora_Verde	Inteiro	0	Série de Tempo
vContadora_Vermelho	Real	0	Série de Tempo
vContadora_Dia_para_Análise	Inteiro	0	Série de Tempo
vContadora_Dia_para_Análise1	Inteiro	0	Série de Tempo
vAnálise_Status_no_Dia	Inteiro	0	Série de Tempo
vPedido_Reposição	Inteiro	0	Série de Tempo
vEspera	Inteiro	0	Série de Tempo
vDia_do_TMR	Inteiro	0	Série de Tempo
vDia_do_TMG	Inteiro	0	Série de Tempo
vCV_Demanda	Real	0	Série de Tempo
vDesvio_Padrão_Tempo_Reposição	Inteiro	0	Série de Tempo
vAtendimento	Inteiro	0	Série de Tempo
vDemanda_Atendida_No_Prazo	Inteiro	0	Série de Tempo
vContadora_Atendimento	Inteiro	0	Série de Tempo
vContadora_Demanda_Atendida_No	Inteiro	0	Série de Tempo
vFill_Rate	Real	0	Série de Tempo
vOn_Time_In_Full	Real	0	Série de Tempo
vOn_Way	Inteiro	0	Série de Tempo
vSubtrai_On_Way	Inteiro	0	Série de Tempo
vContadora_Invasões_Vermelho	Real	0	Série de Tempo
vDia_Final_Período_de_Congelam	Inteiro	0	Série de Tempo
vContadora_Dias_de_Demanda	Inteiro	0	Série de Tempo
vPeríodo_Entre_Mudanças_na_Dem	Inteiro	0	Série de Tempo
vTendência_Aumento_Demanda	Real	0	Série de Tempo
vTendência_Redução_Demanda	Real	0	Série de Tempo
vWarmup	Inteiro	0	Série de Tempo
vMax_Target_Level	Inteiro	0	Série de Tempo
vTarget_Level	Inteiro	0	Série de Tempo

\*\*\*\*\*  
 \* Matrizes \*  
 \*\*\*\*\*

Nome	Dimensões	Tipo	Importar Arquivo	Exportar Arquivo	Desabilitar
mMatriz	461,20	Real		Resultado DBM - 100 Replicações.xlsx	Nenhum

\*\*\*\*\*  
 \* Macros \*  
 \*\*\*\*\*

Nome	Texto
Mac1	

\*\*\*\*\*  
 \* Arquivos Externos \*  
 \*\*\*\*\*

Nome	Tipo	Nome de Arquivo	Prompt
(null)	Turno	Resultado DBM - 100 Replicações.xlsx	

\*\*\*\*\*  
 \* Sequências \*  
 \*\*\*\*\*

Sequência #	Semente #	Resetar
1	1	Não
2	1	Não

## APÊNDICE B – Resultados das 100 replicações para o tratamento A-1

Replicação	Estoque Médio Sistema	Fill Rate	Rotatividade por Atendimento Imediato da Demanda	Demanda Atendida no Prazo	Demanda Gerada
1	692,99	99,91	52,09	36100	36132
2	708,62	99,00	50,75	35962	36327
3	649,91	98,41	53,16	34546	35104
4	707,54	98,98	50,13	35470	35834
5	746,46	99,44	48,04	35862	36065
6	694,26	99,20	52,47	36429	36722
7	713,33	99,87	50,60	36094	36142
8	697,02	100,00	50,88	35462	35462
9	699,31	99,63	52,12	36450	36586
10	671,11	98,43	53,49	35898	36470
11	702,04	99,57	50,81	35668	35823
12	682,94	99,23	52,86	36103	36384
13	700,95	99,79	51,94	36407	36485
14	626,19	99,43	55,62	34828	35027
15	748,60	98,55	48,44	36265	36800
16	643,58	99,04	53,05	34143	34475
17	669,87	99,93	53,37	35748	35774
18	665,66	99,28	52,32	34828	35080
19	692,28	99,14	51,23	35467	35775
20	680,73	95,64	50,78	34564	36139
21	670,98	99,54	52,46	35200	35362
22	652,88	99,75	54,20	35386	35475
23	695,05	99,66	51,44	35750	35871
24	632,43	96,66	53,15	33613	34774
25	653,73	99,49	53,83	35189	35369
26	694,61	99,31	50,96	35394	35639
27	634,33	99,07	55,33	35096	35426
28	687,22	99,64	52,54	36108	36240
29	670,45	99,94	53,26	35707	35729
30	664,40	98,46	52,75	35046	35594
31	740,18	99,29	49,29	36483	36744
32	667,87	99,74	53,27	35575	35666
33	696,79	95,32	49,54	34520	36214
34	670,09	99,42	52,57	35227	35431
35	602,09	98,90	57,96	34895	35283
36	646,22	98,56	54,68	35337	35852
37	679,77	99,47	50,91	34610	34793
38	674,89	99,04	53,10	35838	36184
39	673,38	96,81	52,05	35047	36203
40	669,13	97,63	52,49	35125	35976
41	677,10	99,19	52,98	35874	36167
42	673,79	99,39	52,87	35625	35845
43	680,80	99,90	52,32	35619	35656

(continuação)

Replicação	Estoque Médio Sistema	Fill Rate	Rotatividade por Atendimento Imediato da Demanda	Demanda Atendida no Prazo	Demanda Gerada
44	653,43	98,60	54,08	35340	35843
45	676,08	99,10	52,34	35388	35709
46	711,43	100,00	49,80	35430	35430
47	685,44	99,67	51,57	35345	35462
48	734,26	99,97	48,78	35821	35831
49	662,50	96,00	51,46	34095	35516
50	669,75	93,64	50,51	33826	36125
51	671,92	95,89	51,74	34763	36253
52	656,68	99,40	52,94	34765	34974
53	685,34	99,18	51,68	35421	35715
54	652,19	98,82	53,55	34927	35345
55	673,78	99,54	53,05	35744	35909
56	668,77	98,98	52,50	35110	35472
57	683,84	99,75	50,90	34807	34894
58	772,02	97,89	46,56	35944	36718
59	698,39	99,92	50,68	35396	35424
60	649,17	98,76	53,47	34710	35145
61	637,92	94,07	52,43	33447	35554
62	651,49	97,84	54,23	35329	36110
63	716,81	99,28	49,67	35602	35861
64	711,42	99,89	51,32	36508	36548
65	701,13	99,27	50,86	35661	35923
66	668,78	99,54	52,59	35171	35333
67	753,91	99,22	48,97	36919	37211
68	690,48	99,86	51,55	35594	35643
69	648,43	97,66	53,20	34499	35324
70	657,11	99,44	52,81	34705	34900
71	698,67	99,15	51,49	35975	36285
72	684,64	99,71	51,24	35080	35182
73	689,71	99,69	50,15	34588	34694
74	652,22	99,29	54,83	35762	36016
75	635,00	99,11	54,93	34880	35193
76	691,08	98,36	51,94	35896	36495
77	689,67	97,36	51,42	35461	36423
78	765,72	99,70	48,45	37102	37213
79	716,85	99,54	50,52	36214	36382
80	652,01	99,42	53,25	34717	34920
81	678,06	99,04	53,44	36233	36585
82	702,33	98,94	50,22	35270	35647
83	714,54	96,79	48,95	34975	36135
84	747,85	99,57	48,56	36314	36470
85	654,66	98,87	53,87	35266	35670
86	701,39	99,76	51,39	36042	36127
87	644,84	99,68	55,82	35994	36110
88	703,22	96,64	49,78	35005	36221

(continuação)

Replicação	Estoque Médio Sistema	Fill Rate	Rotatividade por Atendimento Imediato da Demanda	Demanda Atendida no Prazo	Demanda Gerada
89	686,23	99,62	51,74	35503	35637
90	645,69	99,26	54,17	34976	35237
91	697,40	99,90	51,58	35973	36009
92	709,26	97,91	50,17	35582	36343
93	707,88	99,22	50,98	36090	36373
94	675,34	98,71	52,78	35645	36111
95	689,94	100,00	52,03	35901	35901
96	732,24	99,38	49,87	36514	36740
97	672,28	99,95	52,57	35340	35358
98	610,98	99,17	56,36	34435	34723
99	761,48	99,49	48,84	37188	37379
100	720,38	99,11	48,24	34752	35063
Média	683,76	98,90	51,91		
Desvio Padrão	32,81	1,24	1,96		









(continuação)

Tratamentos comparados dois a dois	Cenário A			Cenário B		
	p - FR	p - EMS	p - RAID	p - FR	p - EMS	p - RAID
20-6	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
21-6	0,134	<.001	<.001	<.001	<.001	1,000
22-6	0,958	0,285	0,382	<.001	<.001	0,001
23-6	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
24-6	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
25-6	0,608	<.001	<.001	<.001	0,001	<.001
26-6	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
27-6	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
8-7	0,664	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
9-7	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	1,000
10-7	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
11-7	0,995	0,049	0,003	0,001	0,001	0,593
12-7	0,001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
13-7	0,035	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
14-7	1,000	<.001	<.001	<.001	0,001	0,991
15-7	<.001	0,963	0,861	<.001	<.001	0,035
16-7	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
17-7	0,575	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
18-7	1,000	<.001	<.001	<.001	<.001	0,001
19-7	0,002	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
20-7	0,043	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
21-7	<.001	1,000	1,000	0,967	1,000	0,530
22-7	<.001	<.001	<.001	0,298	<.001	<.001
23-7	0,128	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
24-7	0,991	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
25-7	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
26-7	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	0,002
27-7	0,002	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
9-8	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	0,001
10-8	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
11-8	1,000	0,972	0,757	<.001	<.001	<.001
12-8	0,987	0,400	0,096	0,006	0,001	1,000
13-8	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
14-8	0,089	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
15-8	<.001	1,000	1,000	<.001	<.001	0,938
16-8	<.001	<.001	<.001	1,000	1,000	1,000
17-8	0,003	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
18-8	0,386	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
19-8	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
20-8	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
21-8	<.001	0,723	0,841	<.001	<.001	0,369
22-8	<.001	0,001	0,001	<.001	<.001	1,000
23-8	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
24-8	0,029	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
25-8	<.001	<.001	<.001	0,959	1,000	0,554







(continuação)

Tratamentos comparados dois a dois	Cenário A			Cenário B		
	p - FR	p - EMS	p - RAID	p - FR	p - EMS	p - RAID
26-18	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	0,318
27-18	0,001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
20-19	0,999	0,003	0,002	<.001	<.001	<.001
21-19	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
22-19	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
23-19	0,946	0,640	0,552	1,000	1,000	1,000
24-19	0,182	<.001	<.001	0,048	<.001	<.001
25-19	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
26-19	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	0,013
27-19	1,000	1,000	1,000	0,001	<.001	<.001
21-20	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
22-20	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
23-20	1,000	0,998	0,999	<.001	<.001	<.001
24-20	0,881	0,033	0,011	1,000	0,313	0,069
25-20	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
26-20	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	1,000
27-20	0,999	<.001	<.001	1,000	0,997	1,000
22-21	0,995	<.001	<.001	0,003	<.001	0,069
23-21	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
24-21	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
25-21	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
26-21	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
27-21	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
23-22	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
24-22	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
25-22	<.001	<.001	<.001	0,016	<.001	0,953
26-22	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
27-22	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
24-23	0,990	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
25-23	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
26-23	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	0,005
27-23	0,945	0,058	0,008	<.001	<.001	<.001
25-24	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
26-24	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	1,000
27-24	0,181	<.001	<.001	1,000	<.001	0,001
26-25	<.001	<NA>	<.001	<.001	<NA>	<.001
27-25	<.001	<NA>	<.001	<.001	<NA>	<.001
27-26	<.001	<NA>	<.001	<.001	<NA>	1,000

FR – Fill Rate; EMS – Estoque Médio no Sistema; RAID – Rotatividade por Atendimento Imediato da Demanda



(continuação)

Tratamentos comparados dois a dois	Cenário C			Cenário D		
	p - FR	p - EMS	p - RAID	p - FR	p - SEM	p - RAID
20-2	<.001	<.001	<.001	0,098	<.001	<.001
21-2	0,616	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
22-2	<.001	<.001	0,073	<.001	<.001	<.001
23-2	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
24-2	<.001	<.001	<.001	0,597	<.001	<.001
25-2	<.001	<.001	1,000	<.001	<.001	<.001
26-2	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
27-2	1,000	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
4-3	0,014	<.001	0,003	<.001	<.001	<.001
5-3	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
6-3	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	1,000
7-3	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
8-3	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
9-3	0,002	<.001	<.001	0,997	<.001	0,005
10-3	1,000	0,934	0,999	<.001	<.001	<.001
11-3	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
12-3	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
13-3	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
14-3	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
15-3	<.001	<.001	<.001	0,938	<.001	<.001
16-3	1,000	0,031	0,033	<.001	<.001	<.001
17-3	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
18-3	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
19-3	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
20-3	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
21-3	<.001	<.001	<.001	0,891	<.001	<.001
22-3	1,000	0,016	0,017	<.001	<.001	<.001
23-3	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
24-3	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
25-3	<.001	<.001	0,312	<.001	<.001	<.001
26-3	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
27-3	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
5-4	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
6-4	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
7-4	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	0,001
8-4	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
9-4	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
10-4	0,427	0,001	0,285	0,968	<.001	1,000
11-4	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
12-4	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
13-4	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	0,349
14-4	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	1,000
15-4	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	0,149
16-4	0,001	<.001	<.001	0,601	<.001	0,535
17-4	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	0,997





(continuação)

Tratamentos comparados dois a dois	Cenário C			Cenário D		
	p - FR	p - EMS	p - RAID	p - FR	p - EMS	p - RAID
20-6	<.001	<.001	<.001	0,260	<.001	<.001
21-6	0,002	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
22-6	<.001	<.001	0,142	<.001	0,001	<.001
23-6	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
24-6	<.001	<.001	<.001	0,935	<.001	<.001
25-6	<.001	<.001	1,000	<.001	<.001	<.001
26-6	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
27-6	0,953	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
8-7	0,008	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
9-7	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
10-7	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
11-7	0,549	0,043	0,001	0,996	0,994	0,962
12-7	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
13-7	1,000	<.001	<.001	1,000	<.001	<.001
14-7	0,988	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
15-7	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	0,495
16-7	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
17-7	1,000	<.001	<.001	1,000	<.001	<.001
18-7	0,001	<.001	<.001	<.001	0,006	<.001
19-7	0,984	<.001	<.001	1,000	<.001	<.001
20-7	1,000	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
21-7	<.001	<.001	0,002	<.001	<.001	<.001
22-7	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
23-7	1,000	<.001	<.001	0,994	<.001	<.001
24-7	0,001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
25-7	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
26-7	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
27-7	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
9-8	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	0,999
10-8	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
11-8	0,419	0,003	<.001	<.001	<.001	<.001
12-8	0,997	0,021	0,002	1,000	1,000	0,999
13-8	0,006	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
14-8	0,370	<.001	<.001	1,000	<.001	<.001
15-8	<.001	1,000	1,000	<.001	1,000	<.001
16-8	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
17-8	0,099	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
18-8	1,000	<.001	<.001	1,000	<.001	<.001
19-8	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
20-8	0,149	<.001	<.001	1,000	<.001	<.001
21-8	<.001	1,000	0,997	<.001	0,423	<.001
22-8	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
23-8	0,051	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
24-8	1,000	<.001	<.001	1,000	<.001	<.001
25-8	<.001	<.001	0,052	<.001	<.001	<.001

(continuação)

Tratamentos comparados dois a dois	Cenário C			Cenário D		
	p - FR	p - EMS	p - RAID	p - FR	p - EMS	p - RAID
26-8	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
27-8	<.001	1,000	0,976	<.001	<.001	<.001
10-9	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
11-9	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
12-9	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	1,000
13-9	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
14-9	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
15-9	1,000	<.001	<.001	1,000	<.001	<.001
16-9	0,049	0,751	1,000	<.001	0,453	<.001
17-9	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
18-9	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
19-9	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
20-9	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
21-9	0,997	<.001	<.001	1,000	<.001	<.001
22-9	0,049	0,913	1,000	<.001	1,000	<.001
23-9	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
24-9	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
25-9	<.001	<.001	1,000	<.001	<.001	<.001
26-9	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
27-9	0,006	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
11-10	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
12-10	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
13-10	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	0,235
14-10	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	0,992
15-10	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	0,015
16-10	0,920	<.001	<.001	1,000	<.001	0,499
17-10	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	0,998
18-10	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	0,307
19-10	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
20-10	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	1,000
21-10	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	0,906
22-10	0,920	<.001	<.001	1,000	<.001	0,021
23-10	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	0,002
24-10	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	1,000
25-10	<.001	<.001	0,062	<.001	<.001	<.001
26-10	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
27-10	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
12-11	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
13-11	0,519	<.001	<.001	0,918	<.001	<.001
14-11	1,000	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
15-11	<.001	0,002	0,280	<.001	<.001	0,033
16-11	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
17-11	1,000	<.001	<.001	1,000	<.001	<.001
18-11	0,568	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
19-11	0,005	<.001	<.001	1,000	<.001	<.001



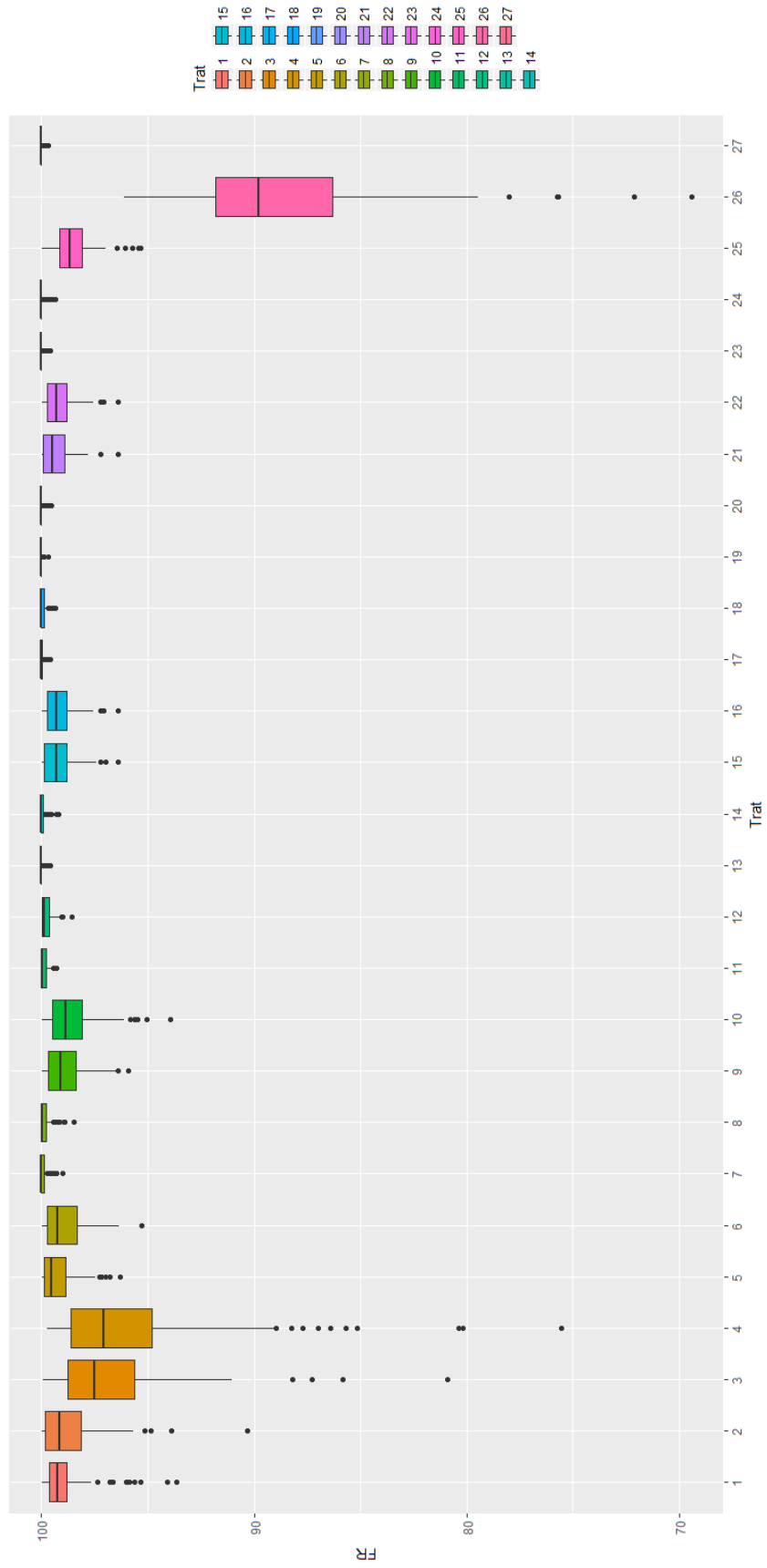


(continuação)

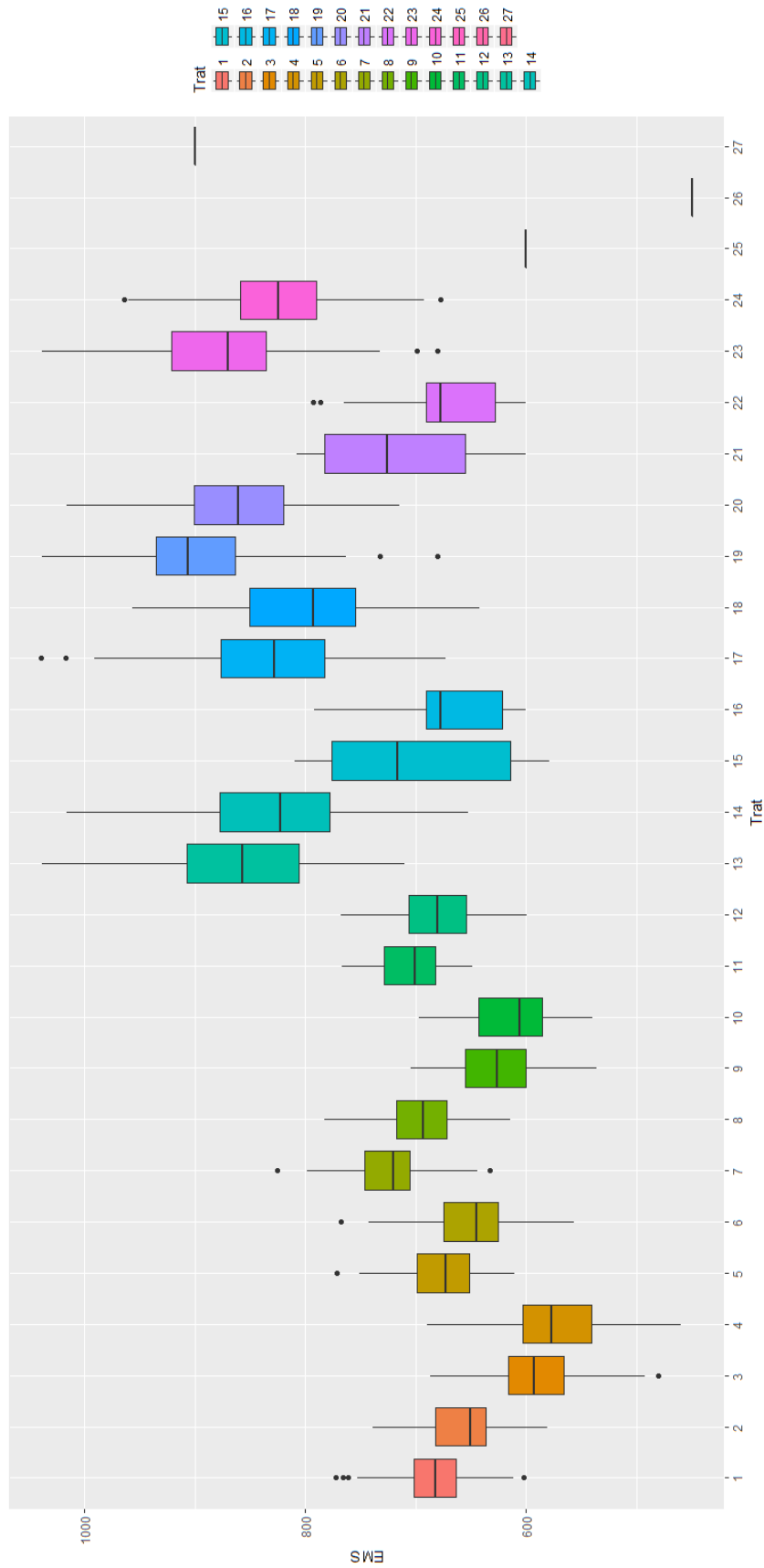
Tratamentos comparados dois a dois	Cenário C			Cenário D		
	p - FR	p - EMS	p - RAID	p - FR	p - EMS	p - RAID
26-18	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
27-18	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
20-19	0,447	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
21-19	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
22-19	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	1,000
23-19	0,807	0,107	0,077	1,000	0,310	0,309
24-19	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
25-19	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
26-19	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
27-19	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
21-20	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
22-20	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	0,003
23-20	1,000	0,171	0,081	<.001	<.001	<.001
24-20	0,155	0,018	0,010	1,000	0,184	0,123
25-20	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
26-20	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
27-20	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
22-21	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
23-21	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
24-21	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	0,333
25-21	<.001	<.001	0,010	<.001	<.001	<.001
26-21	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
27-21	0,379	1,000	1,000	<.001	<.001	<.001
23-22	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	1,000
24-22	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
25-22	<.001	<.001	1,000	<.001	<.001	<.001
26-22	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
27-22	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
24-23	0,029	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
25-23	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
26-23	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
27-23	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
25-24	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
26-24	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
27-24	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
26-25	<.001	<NA>	<.001	<.001	<NA>	<.001
27-25	<.001	<NA>	0,011	<.001	<NA>	<.001
27-26	<.001	<NA>	<.001	<.001	<NA>	<.001

FR – *Fill Rate*; EMS – Estoque Médio no Sistema; RAID – Rotatividade por Atendimento Imediato da Demanda

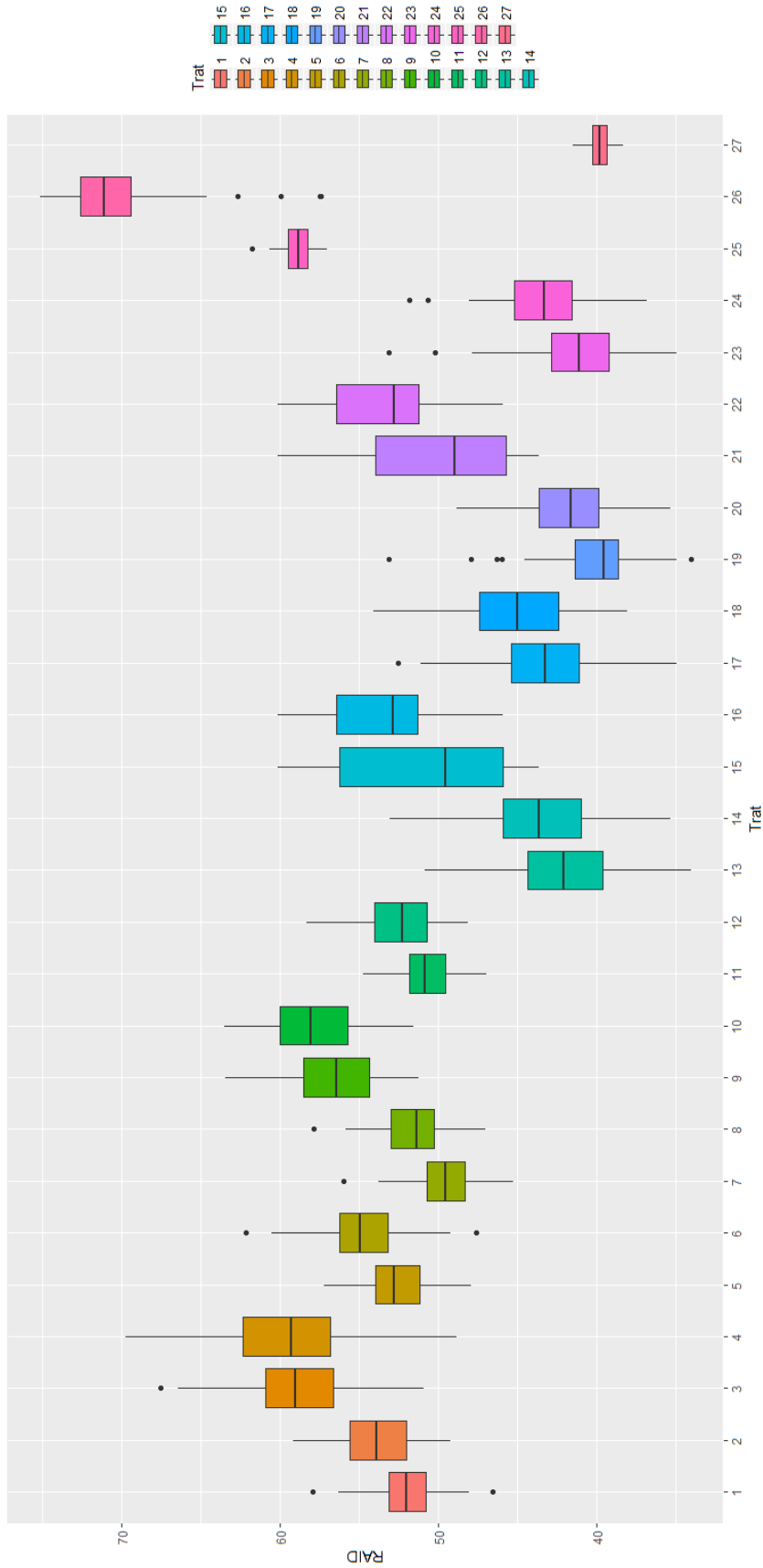
APÊNDICE E – Boxplots para o indicador FR no cenário A



APÊNDICE F – Boxplots para o indicador EMS no cenário A

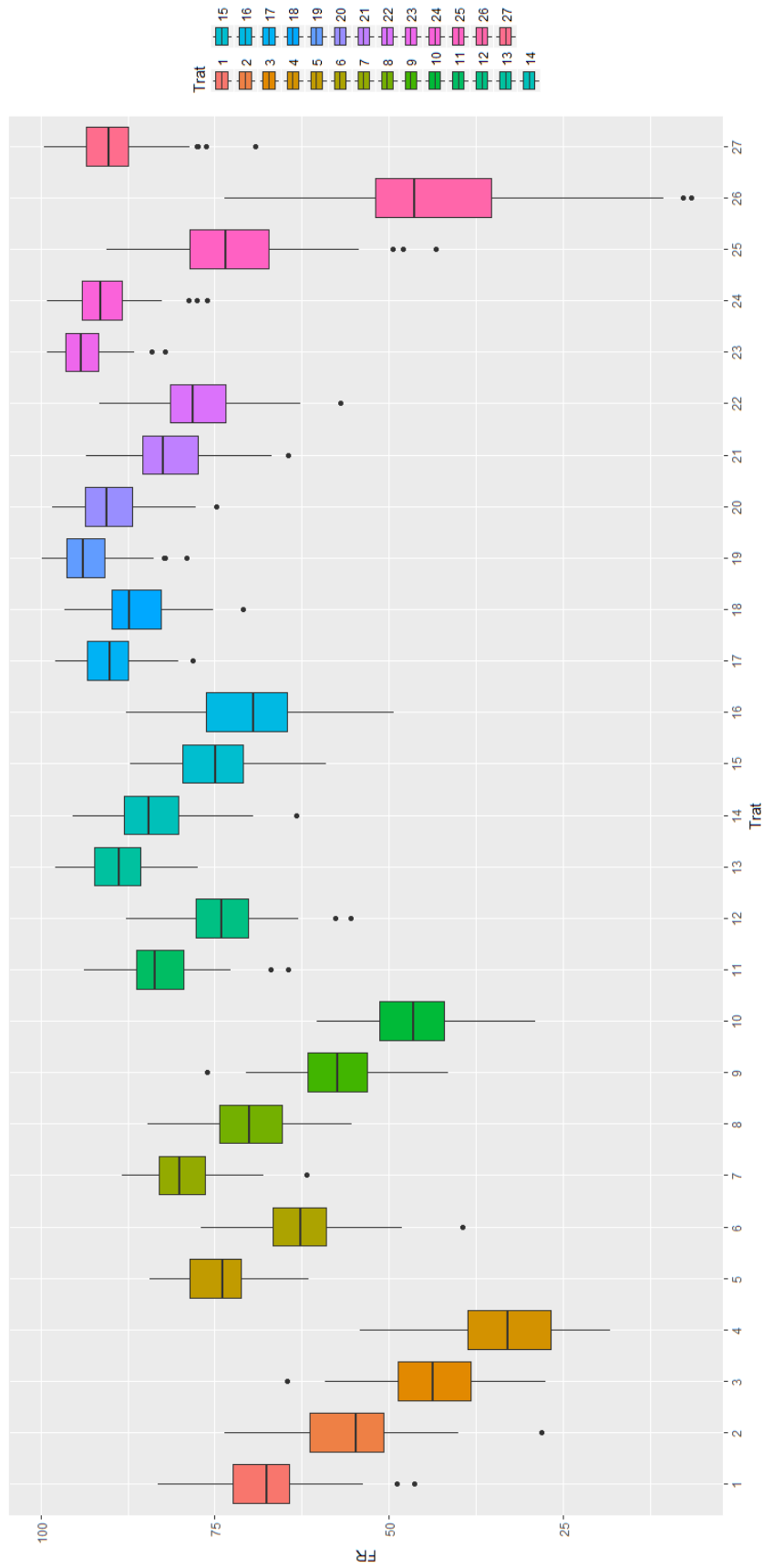


APÊNDICE G – Boxplots para o indicador RAID no cenário A

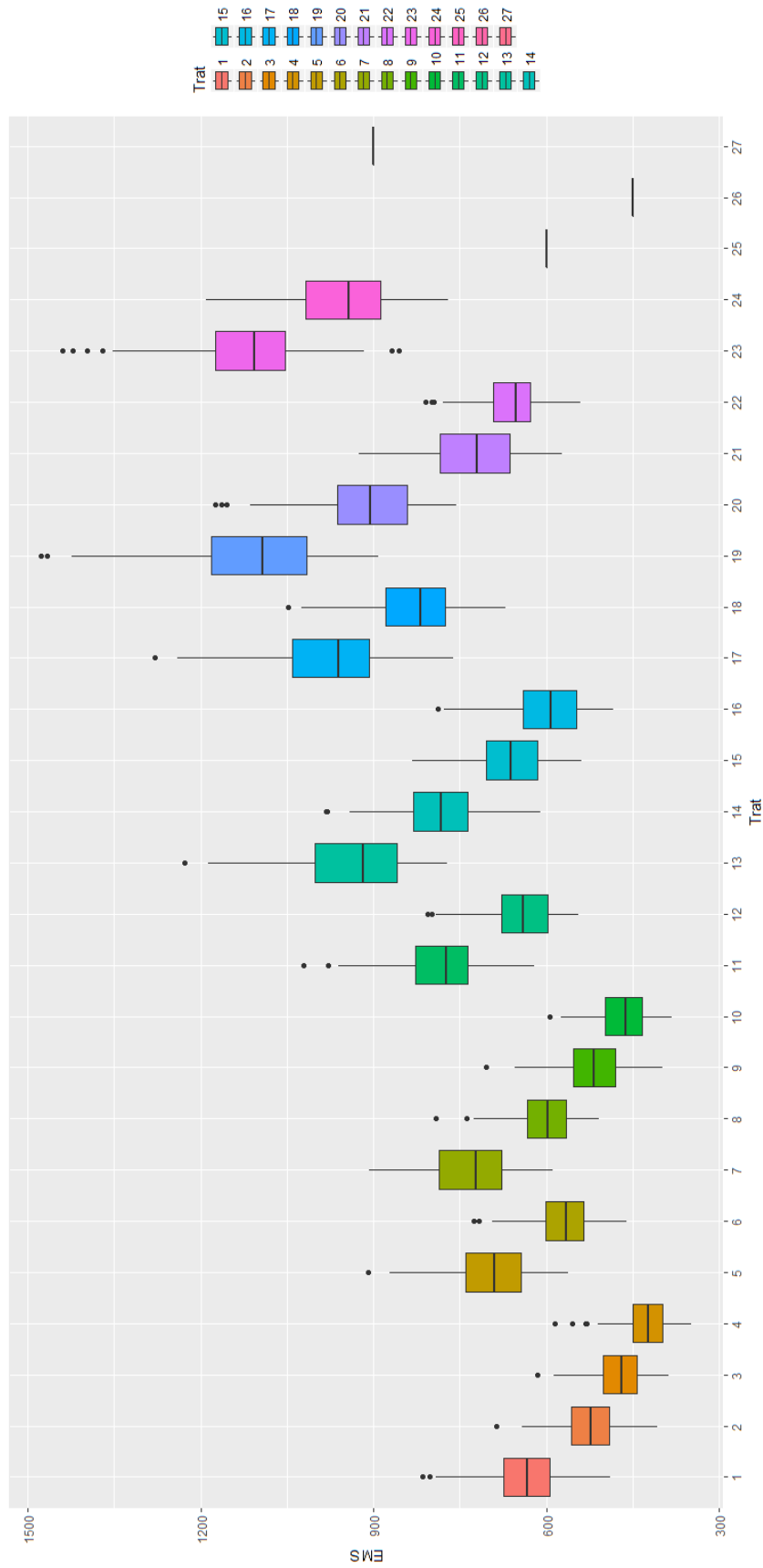




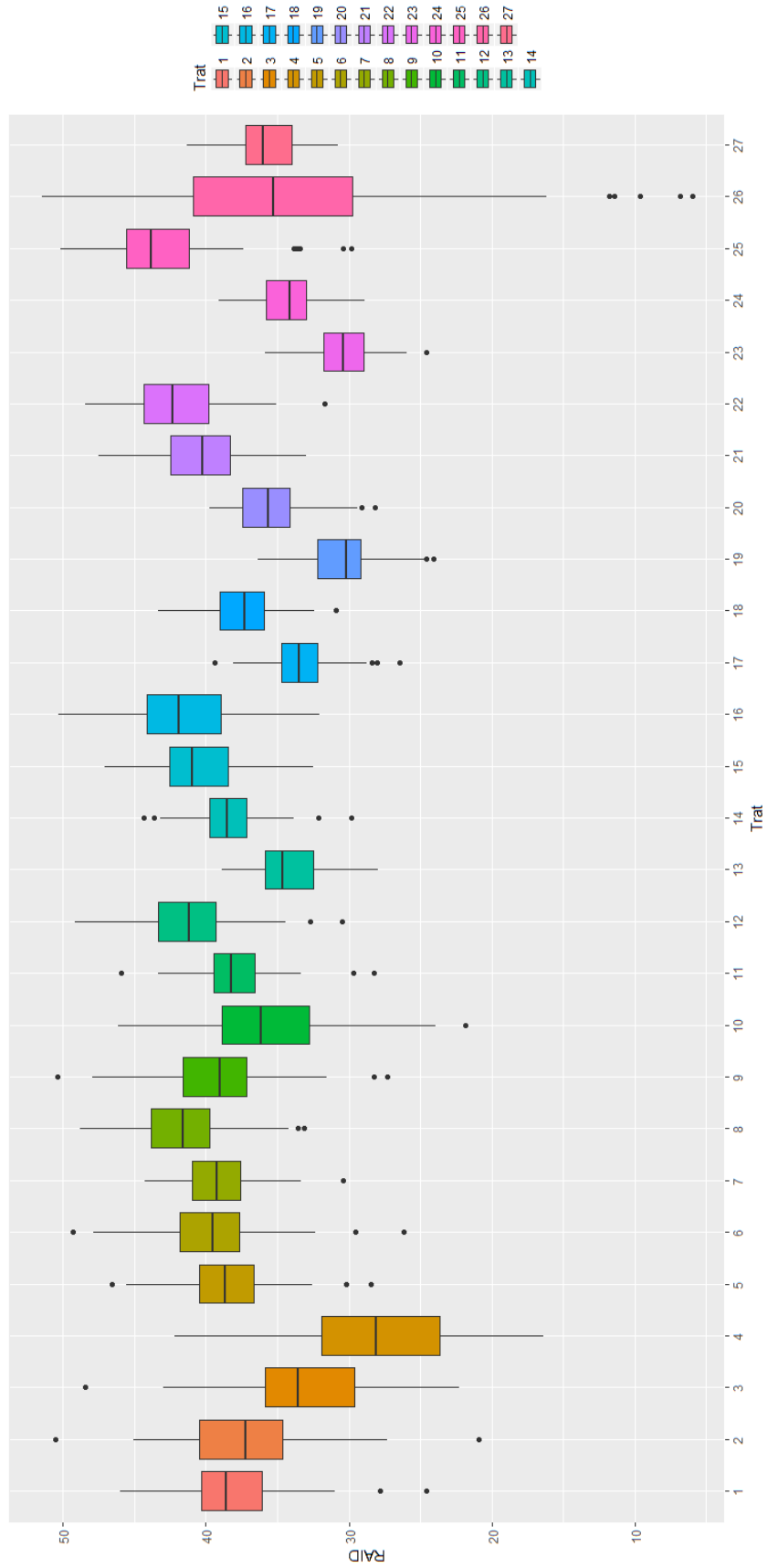
APÊNDICE H – Boxplots para o indicador FR no cenário B



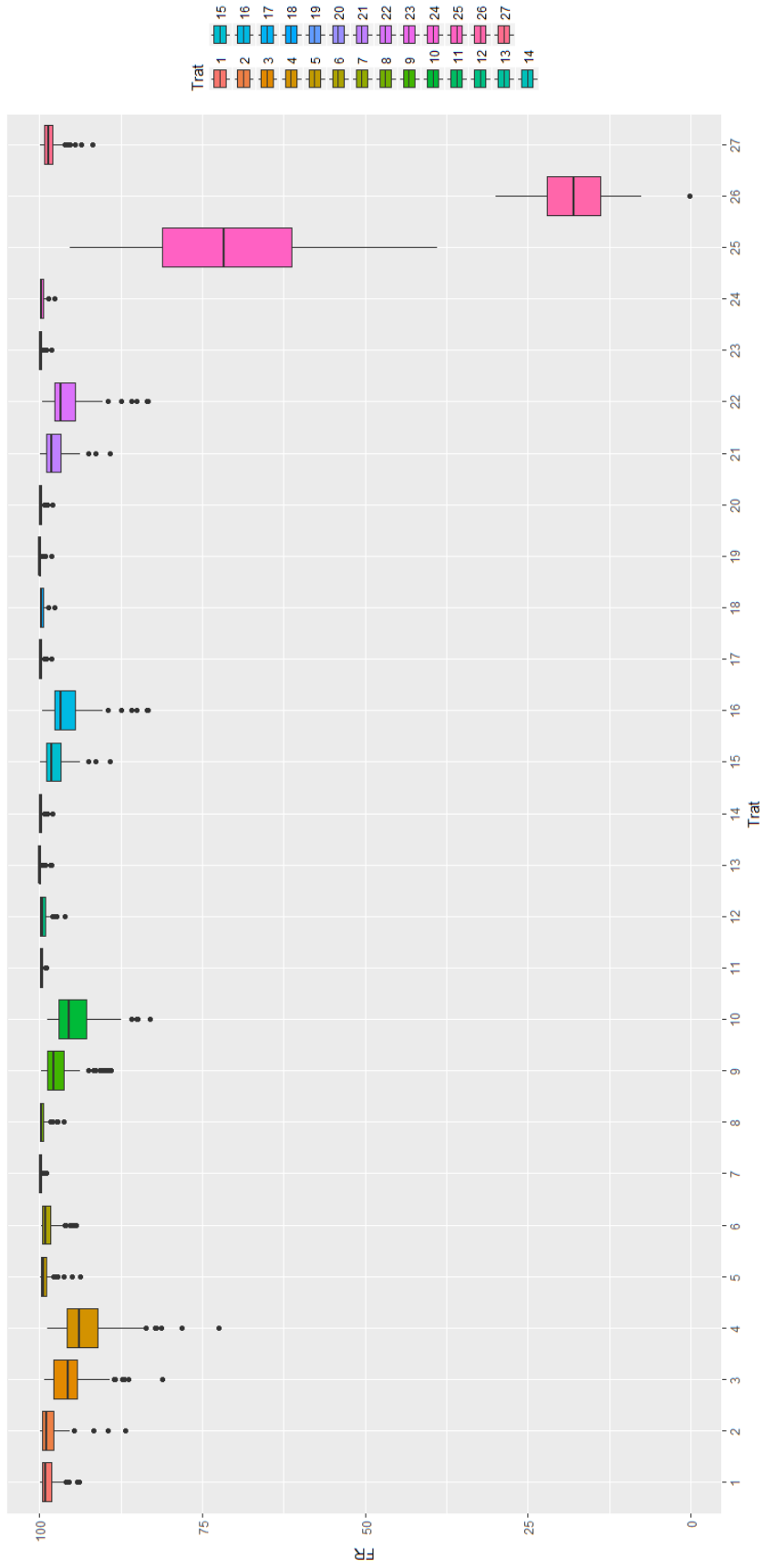
APÊNDICE I – Boxplots para o indicador EMS no cenário B



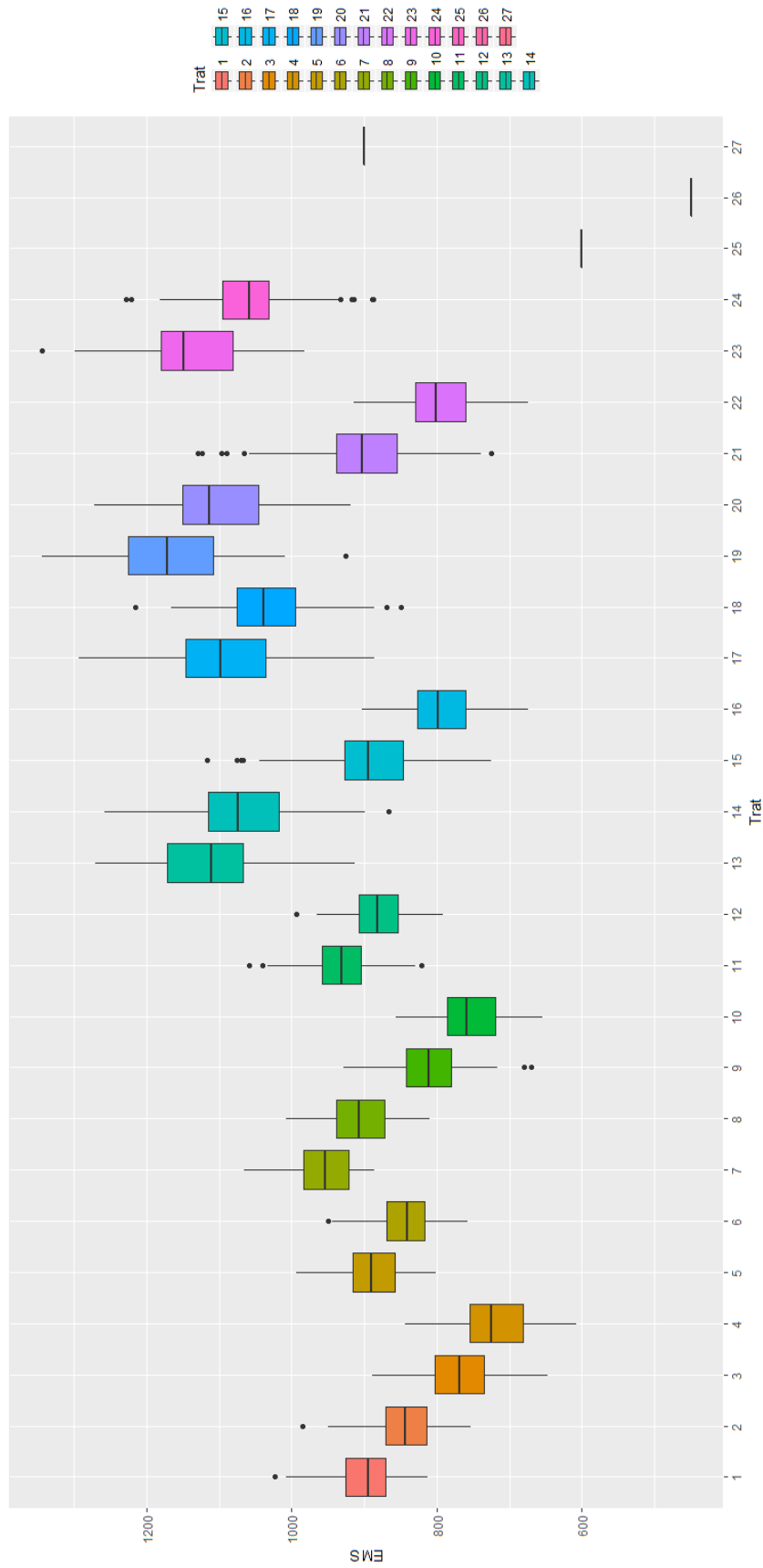
APÊNDICE J – Boxplots para o indicador RAID no cenário B



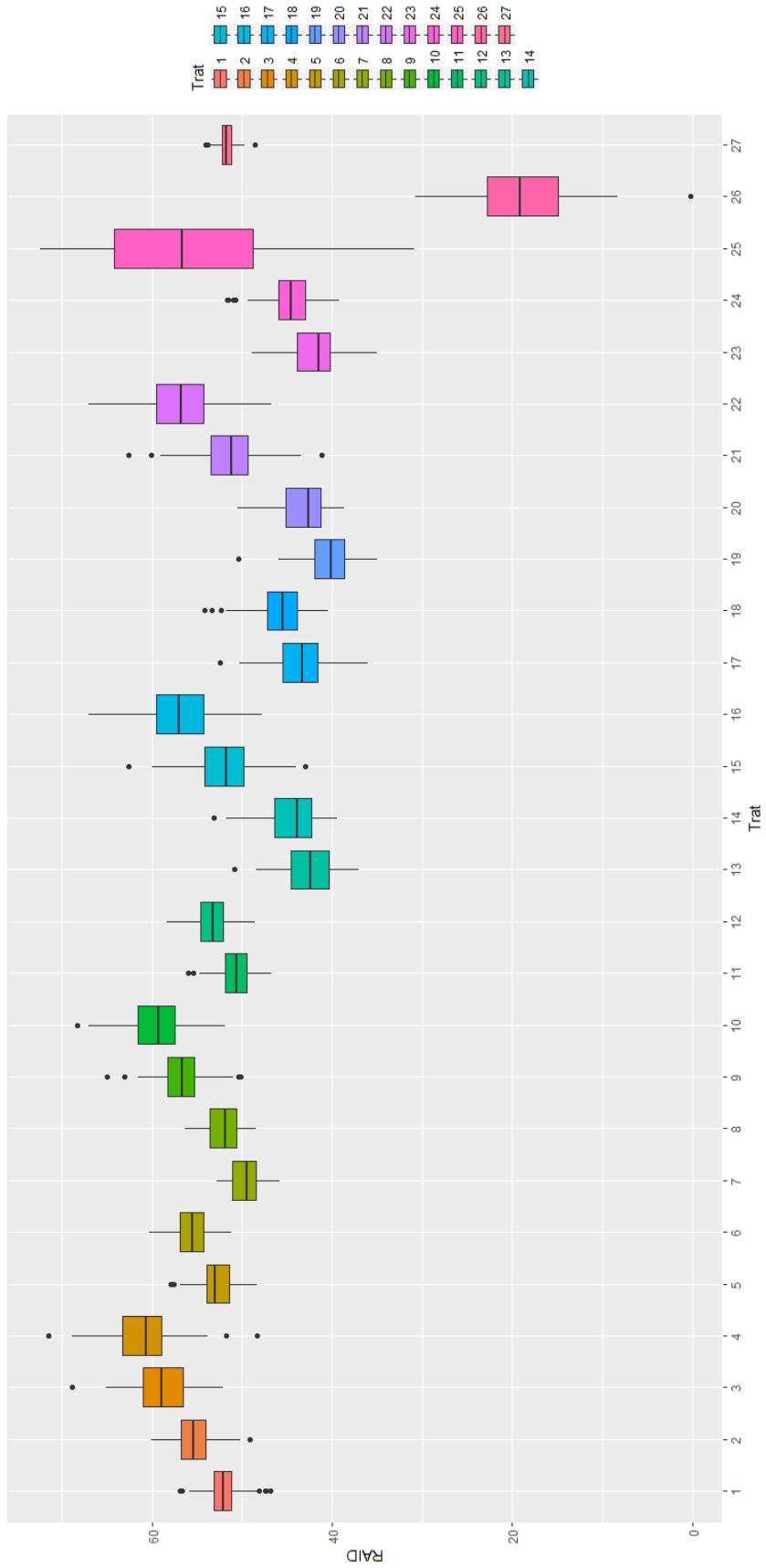
APÊNDICE K – Boxplots para o indicador FR no cenário C



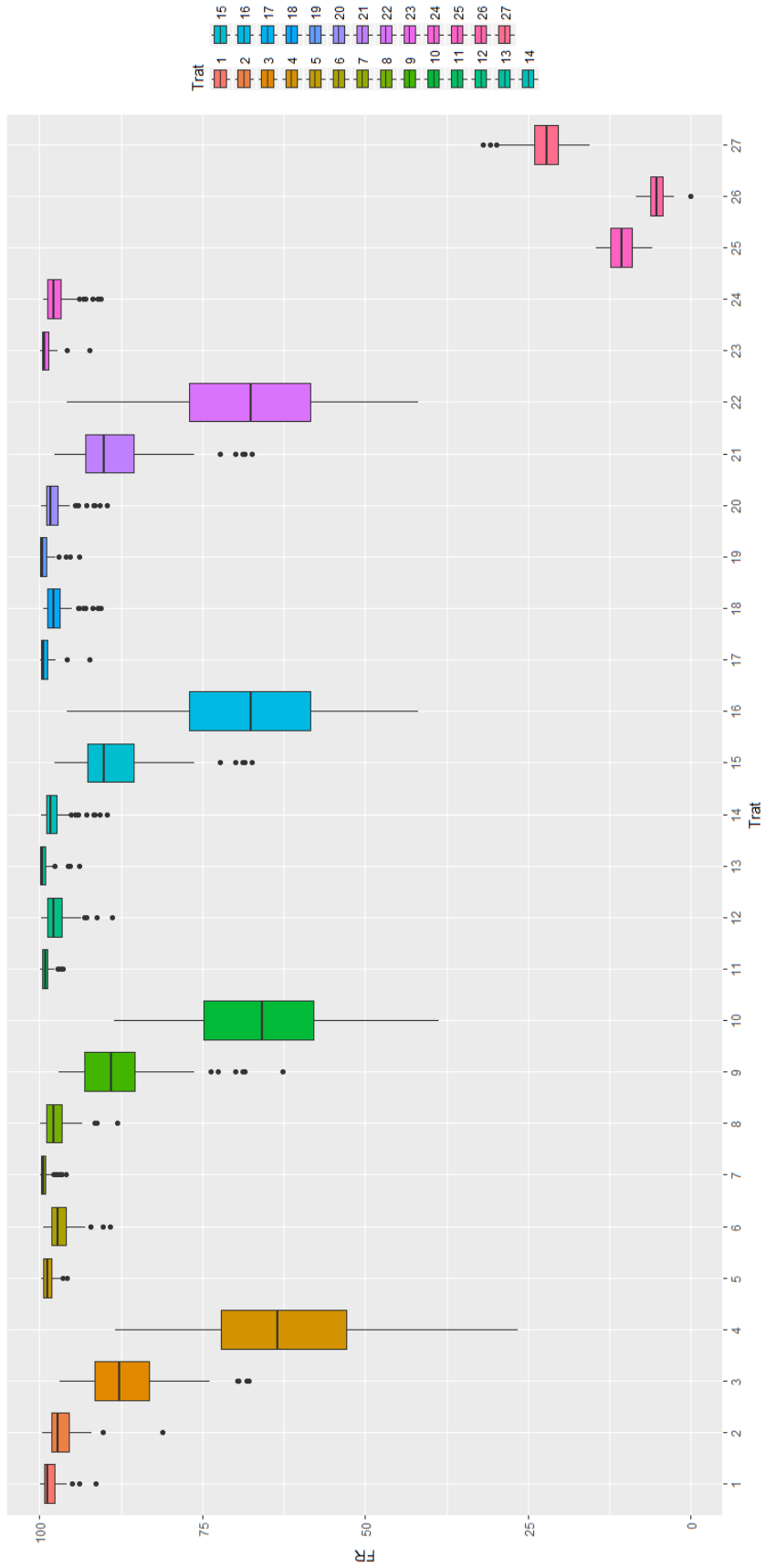
APÊNDICE L – Boxplots para o indicador EMS no cenário C



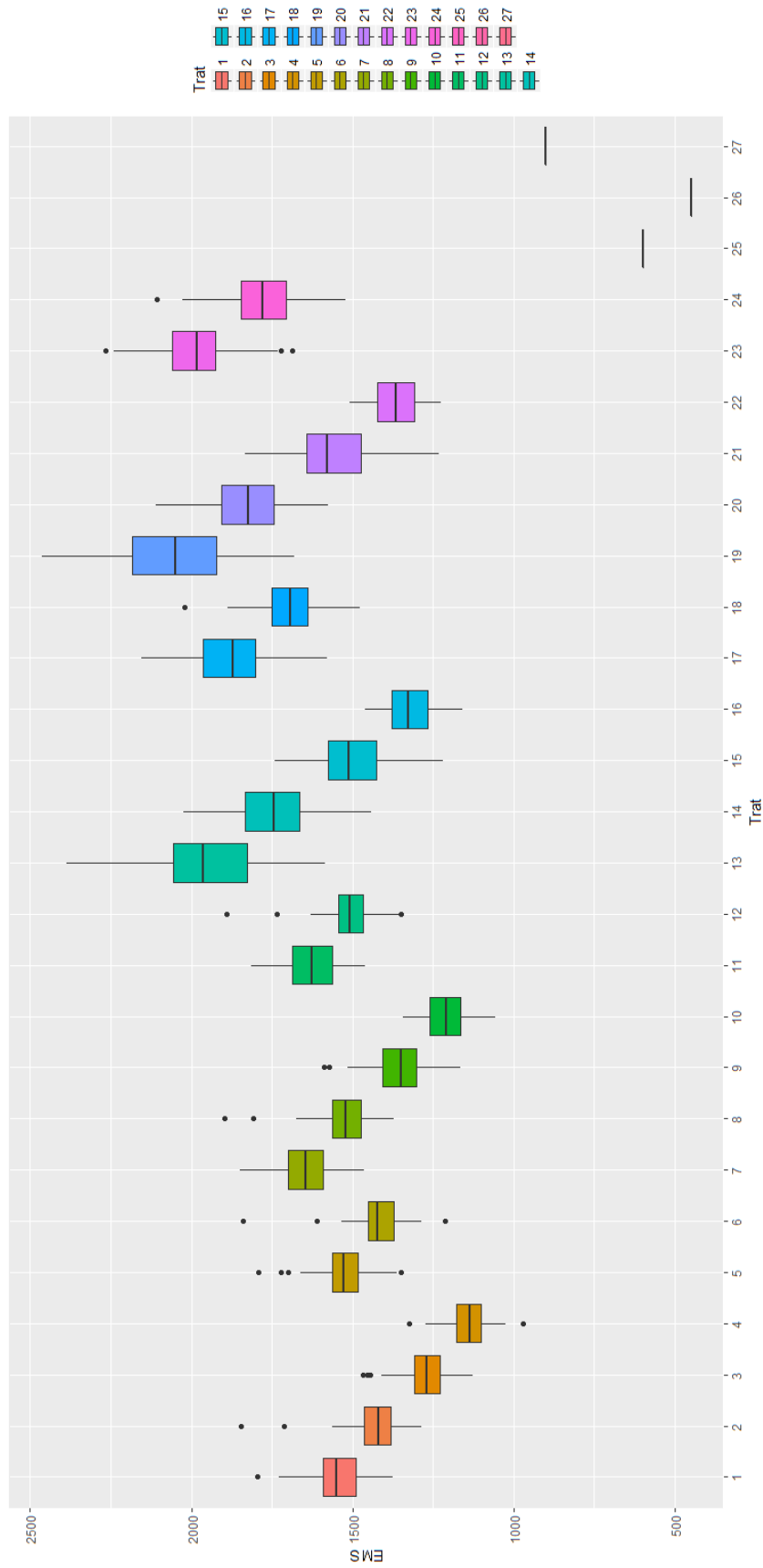
APÊNDICE M – Boxplots para o indicador RAID no cenário C



APÊNDICE N – Boxplots para o indicador FR no cenário D



### APÊNDICE O – Boxplots para o indicador EMS no cenário D





### APÊNDICE P – Boxplots para o indicador RAID no cenário D

