

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO**

MARCEL HEIMAR RIBEIRO UTIYAMA

**Estudo de alocação de programas de melhoria em um ambiente *flow shop*
para redução do *lead time***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Moacir Godinho Filho

**SÃO CARLOS
2012**

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

U89ea

Utiyama, Marcel Heimar Ribeiro.

Estudo de alocação de programas de melhoria em um ambiente *flow shop* para redução do *lead time* / Marcel Heimar Ribeiro Utiyama. -- São Carlos : UFSCar, 2012. 126 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2012.

1. Engenharia de produção. 2. Planejamento e controle da produção. 3. Teoria das restrições (Administração). 4. Manufatura enxuta. 5. Dinâmica de sistemas. 6. Alocação de programas de melhoria. I. Título.

CDD: 658.5 (20^a)

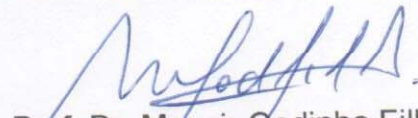


PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
Rod. Washington Luís, Km. 235 - CEP. 13565-905 - São Carlos - SP - Brasil
Fone/Fax: (016) 3351-8236 / 3351-8237 / 3351-8238 (ramal: 232)
E-mail : ppgep@dep.ufscar.br

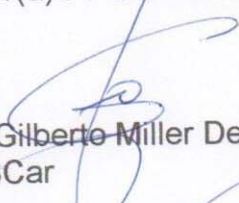
FOLHA DE APROVAÇÃO

Aluno(a): Marcel Heimar Ribeiro Utiyama


DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DEFENDIDA E APROVADA EM 27/02/2012 PELA
COMISSÃO JULGADORA:



Prof. Dr. Moacir Godinho Filho
Orientador(a) PPGE/UFSCar



Prof. Dr. Gilberto Miller Devós Ganga
DEP/UFSCar



Prof. Dr. Antônio Freitas Rentes
EESC/USP



Prof. Dr. Mário Otávio Batalha
Coordenador do PPGE

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho à minha mãe.
Que todo o esforço colocado nesse trabalho possa de alguma forma motivá-la
nessa sua luta para voltar a andar.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Moacir Godinho Filho por todas as diretrizes dadas que fizeram com que eu obtivesse êxito não só na realização deste trabalho, mas também em minha formação.

Agradeço também aos professores da banca, Gilberto Miller Devós Ganga e Antônio Freitas Rentes, por suas valiosas contribuições e sugestões.

Agradeço aos funcionários do programa de pós graduação em Engenharia de Produção, pela ajuda prestada.

Agradeço a CAPES por financiar esta pesquisa.

Agradeço aos meus pais, Mário Tetsunori Utiyama e Diva Ribeiro da Silva Utiyama e meus irmãos Douglas Patrick Ribeiro Utiyama, Reinier Alexsander Ribeiro Utiyama e Francine Elisa Aparecida Ribeiro Utiyama, por terem oferecido tudo o que eu precisei, mesmo em momentos de sérias dificuldades.

Agradeço a minha namorada Mayra Fernanda Alves Campos por todo o seu amor e por estar sempre presente em todos os momentos da minha vida.

Agradeço a todos os meus amigos. Sem citar nomes, agradeço aos amigos de todas as horas de minha cidade natal. Agradeço também aos meus “ex amigos” do tempo de graduação, que conseguiram me aguentar durante cinco anos. Agradeço aos novos amigos da pós-graduação, por terem enfrentado comigo essa etapa importante de nossas vidas.

Agradeço a todos os meus amigos que treinam e jogam Xadrez comigo, vocês são com certeza minha segunda família.

RESUMO

A redução do *lead time* implica em ganhos significativos. Essa redução é obtida por meio de programas de melhorias em variáveis do chão de fábrica. Duas abordagens, a saber, Manufatura Enxuta e Teoria das Restrições, possuem técnicas e ferramentas que se propõem a alocar programas de melhoria em diferentes locais de uma linha produtiva. As técnicas e ferramentas da primeira sugerem melhorias distribuídas por todas as estações de trabalho, enquanto a segunda afirma que o foco das melhorias deve ser alocadas apenas no recurso restrição. Nesse contexto, este trabalho investiga qual a melhor alternativa de alocação de programas de melhoria com relação à redução do *lead time*, ou seja, implementar melhorias em variáveis do chão de fábrica somente no recurso restrição, ou, alternativamente, em todas as estações de trabalho. No presente estudo é utilizado um modelo quantitativo que relaciona as abordagens de *System Dynamics* (FORRESTER, 1961) e *Factory Physics* (HOPP; SPEARMAN, 2001) criado por Godinho Filho e Uzsoy (2008a; 2008b; 2009). Os resultados indicam que quando a utilização do recurso restrição de capacidade for alta e a diferença na utilização do mesmo e os recursos não restritivos for significativa (acima de 5%), um investimento grande e concentrado é a melhor opção. Conforme tanto a utilização do recurso restrição de capacidade quanto a diferença entre recurso restrição de capacidade e recursos não restritivos diminuem, o programa de melhoria em vários pontos da linha começa a se comportar melhor. A diminuição na diferença entre a utilização do recurso restrição e não restrição pode ser entendida como uma tendência ao balanceamento da linha, o que favorece a alocação de programas de melhoria em vários pontos da linha. Por fim, se na prática, houver a presença de uma linha não balanceada e o recurso restrição de capacidade estiver com alta utilização e se sobressair em relação aos recursos não restrição, a melhor alternativa é realizar um investimento grande e concentrado no recurso restritivo. Entretanto, pode haver situações em que efetuar uma grande melhoria concentrada no gargalo é proibitiva e os resultados sugerem que uma abordagem de melhoria híbrida é interessante para essa situação quando o recurso restrição de capacidade apresentar altas utilizações (99,8 e 95,5%), já na presença de um recurso restritivo com utilização de 90,5% a alocação de programas de melhoria direcionada a vários pontos da linha é indicada.

Palavras-chave: Alocação de programas de melhoria, *lead time*; Teoria das Restrições; Manufatura Enxuta; Dinâmica de Sistemas; *Factory Physics*.

ABSTRACT

Lead time reduction results in significant gains. This reduction is achieved through improvements programs in six different shop floor parameters. Two approaches, namely, Lean Manufacturing and Theory of Constraints have different tools and techniques with different improvement allocations in a production line. The tools and techniques of the first suggest improvements spread along the line. The second one advocates that the focus of improvements should be just on the constraint resource. In this context, this study investigates what is the best allocation of improvement programs regarding lead time reduction, a large improvement on the constraint resource, or, alternatively, small improvements on all workstations. In the present study, a quantitative model that relates System Dynamics (Forrester, 1961) and Factory Physics (Hopp; Spearman, 2001) approaches, created by Godinho Filho and Uzsoy (2008a; 2008b; 2009) is used. The results indicate that when constraint resource utilization is high and the difference in the utilization between constrained resource and non-constrained resource is significant (over 5%), a large investment constraint resource option is best. As the utilization of the constrained resource and the difference between the utilization of constrained and non-constrained resources decreases, the improvement program at various points of the line begins to behave better. This decrease in the difference between the utilization of constrained and non-constrained resource can be understood as a trend toward a balanced line. Lastly, if in practice, there is a balanced line and the constrained resource prevails over the non-constrained resource, the best option is a great concentrated investment at the constrained resource. However, might be situations where a great investment at the constrained resource is impracticable and the results of this work suggest that an hybrid approach is interesting when the constrained resource have higher utilizations (99,8% and 99,5%), already, when the utilization of the constrained resource is 90,5% a good option is the allocation of the improvement programs at various points of the line.

Keywords: *Improvement allocation programs, Lead time; Theory of Constraints; Lean Manufacturing; System Dynamics; Factory Physics.*

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	11
1.1 APRESENTAÇÃO DO TRABALHO	11
1.2 QUESTÃO E OBJETIVO DE PESQUISA.....	12
1.3 JUSTIFICATIVA DA IMPORTÂNCIA DO TEMA	13
1.4 METODOLOGIA DE PESQUISA.....	15
1.4.1 Abordagem de pesquisa.....	15
1.4.2 Procedimentos de pesquisa	16
1.4.3 Método de pesquisa	18
1.4.4 Técnica de pesquisa	19
1.4.5 Aspectos metodológicos aplicados ao presente trabalho.....	19
CAPÍTULO 2: REFERENCIAL TEÓRICO BÁSICO	22
2.1 INTRODUÇÃO.....	22
2.2 MANUFATURA ENXUTA	22
2.2.1 Histórico	23
2.2.2 Princípios gerais da Manufatura Enxuta.....	25
2.2.3 Principais conceitos, técnicas e ferramentas da abordagem Manufatura Enxuta.....	27
2.2.3.1 Redução do desperdício (<i>Muda</i>).....	27
2.2.3.2 Mapeamento do fluxo de valor (MFV)	29
2.2.3.3 Autonomia.....	30
2.2.3.4 <i>Just-in-Time</i> e <i>Kanban</i>	31
2.2.2.5 <i>Heijunka</i>	34
2.3 TEORIA DAS RESTRICÇÕES.....	35
2.3.1 Histórico da Teoria das Restrições	37
2.3.2 Princípios da Teoria das Restrições.....	37
2.3.3 OPT.....	40
2.3.4 DBR (<i>Drum-buffer-rope</i>).....	42
2.4 Trabalhos com o foco próximo a questão da melhor alocação de programas de melhoria.....	44
2.5 O modelo híbrido <i>System Dynamics-Factory Physics</i>	46
2.6 Considerações finais	56
CAPÍTULO 3 COMPARAÇÕES ENTRE A MANUFATURA ENXUTA E A TEORIA DAS RESTRICÇÕES EXISTENTES NA LITERATURA.....	58
3.1. INTRODUÇÃO.....	58
3.2 MÉTODO DE PESQUISA BIBLIOGRÁFICA UTILIZADO.....	59
3.3 CLASSIFICAÇÃO DA LITERATURA A RESPEITO DA COMPARAÇÃO ENTRE A TEORIA DAS RESTRICÇÕES E A MANUFATURA ENXUTA.....	60
3.3.1 O sistema de classificação proposto.....	60
3.3.2 Classificação da revisão da literatura a respeito da comparação entre a Teoria das Restrições e a Manufatura Enxuta.....	61
3.4 A REVISÃO DA LITERATURA	62
3.4.1 Trabalhos que realizaram uma comparação geral entre as abordagens TOC e Manufatura Enxuta.....	63
3.4.1.1 Trabalhos que mostram que uma determinada abordagem se sobressai em alguma situação específica...63	
3.4.1.2 Trabalhos que mostraram que ambas as abordagens são complementares	65
3.4.1.3 Outros.....	68

3.4.2 Trabalhos que realizaram uma comparação entre ferramentas específicas de ambas as abordagens	69
3.4.2.1 Trabalhos que mostraram que uma determinada ferramenta se sobressaiu em alguma situação específica 69	
3.4.3 Trabalhos que realizaram uma comparação geral entre as abordagens e também entre ferramentas específicas.....	72
3.4.3.1 Trabalhos que mostraram que uma determinada abordagem/ferramenta se sobressaiu em alguma situação específica	72
3.4.3.2 Trabalhos que mostraram que ambas as abordagens/ferramentas são complementares	74
3.4.3.3 Outros.....	75
3.5 ANÁLISES	76
3.5.1 Análise	77
3.5.2 Análise dos trabalhos que mostram que uma determinada abordagem/ferramenta se sobressai em alguma situação específica.....	78
3.5.3 Análise dos trabalhos que mostraram que as abordagens/ferramentas são complementares	81
3.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	83
CAPÍTULO 4: ESTUDO DA ALOCAÇÃO DE PROGRAMAS DE MELHORIA.....	85
4.1 INTRODUÇÃO.....	85
4.2 COMPARAÇÃO ENTRE MELHORAR 50% NO RECURSO RESTRIÇÃO DE CAPACIDADE VERSUS MELHORAR 10% EM TODAS AS ESTAÇÕES	86
4.2.1 Cenário 1: Recurso restrição de capacidade com tempo de processamento 15% superior as demais estações de trabalho	88
4.2.2 Cenário 2: Recurso restrição de capacidade com tempo de processamento 10% superior as demais estações de trabalho	93
4.3 CENÁRIO 3: DETERMINAÇÃO DO PONTO EM QUE INVESTIR EM 10% EM TODAS AS ESTAÇÕES DE TRABALHO TORNA-SE MELHOR DO QUE INVESTIR EM 50% NO RECURSO RRC...97	
4.4 COMPARAÇÃO ENTRE MELHORAR 25% NO RECURSO RESTRIÇÃO DE CAPACIDADE VERSUS MELHORAR 10% EM TODAS AS ESTAÇÕES	100
4.4.1 Cenário 4: Recurso restrição de capacidade com tempo de processamento 15% superior as demais estações de trabalho	101
4.4.2 Cenário 5: Recurso restrição de capacidade com tempo de processamento 10% superior as demais estações de trabalho	105
4.5 UMA ABORDAGEM HÍBRIDA ENTRE AS POLÍTICAS DE MELHORIA DAS ABORDAGENS MANUFATURA ENXUTA E TEORIA DAS RESTRIÇÕES.....	109
4.5.1 Cenário 6: Recurso restrição de capacidade com tempo de processamento 15% superior as demais estações de trabalho	111
4.5.2 Cenário 7: Recurso restrição de capacidade com tempo de processamento 10% superior as demais estações de trabalho	112
CAPÍTULO 5 CONCLUSÕES.....	114
CAPÍTULO 6: REFERÊNCIAS	118

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

Os gerentes de produção, em suas atividades de trabalho cotidiano, enfrentam muitos desafios: aumentar as vendas, reduzir os custos, reduzir estoques, dentre outros. A melhoria contínua de variáveis do chão de fábrica (por exemplo, tempo de processamento, tempo entre as chegadas de ordens entre outras) é a forma normalmente encontrada para aumentar a competitividade da empresa. Nessa situação, escolher adequadamente dentre as diversas possibilidades de melhoria é fundamental para fazer frente aos diversos desafios impostos pelo ambiente competitivo. Mais especificamente, saber escolher uma entre as diversas alternativas de alocação de programas de melhoria é essencial, tendo em vista que o gerente na prática se vê frente a várias opções de melhoria:

- (i) Foco no recurso restrição de capacidade (RRC): Modernas abordagens de gestão têm o foco no recurso restrição. Entre elas, destaca-se a Teoria das Restrições (*Theory of constraints* – TOC) que foi proposta primeiramente pelo Dr. Eliyahu Goldratt no livro *A Meta* (GOLDRATT, 1984). A TOC e suas técnicas e ferramentas enfatizam a importância do foco nas restrições, ou seja, as melhorias devem ser focadas no recurso restrição;
- (ii) Distribuídas pela linha produtiva: O Sistema Toyota de Produção (MONDEN, 1986) chamado no ocidente de Manufatura Enxuta (WOMACK; JONES; ROOS, 1992) possui diversas técnicas e ferramentas (como por exemplo, o *Kaizen*, *Kanban* e a redução de desperdícios) que sugerem pequenas melhorias simultâneas distribuídas por todo o sistema produtivo;
- (iii) Combinações: O gerente pode optar por diversas opções combinadas entre a melhoria focada no recurso restrição e a espalhada pelo sistema produtivo.

É exatamente dentro desse contexto que o presente trabalho se insere, objetivando auxiliar na tomada de decisão a respeito de qual melhor opção de implementação

de programas de melhoria com relação a redução do *lead time*. Em outras palavras, o presente trabalho pretende investigar qual a melhor política referente à redução do *lead time*: Realizar melhorias somente no recurso restrição de capacidade ou pequenas melhorias simultâneas em todas as estações de trabalho?

Conforme pode ser visto, *lead time* é a medida de desempenho escolhida para realizar a comparação pretendida neste estudo. Nesse trabalho *lead time* é definido de acordo com Ericksen et. al. (2007), ou seja, é o tempo típico (medido em dias corridos), desde que o cliente faz o pedido, passando pelo caminho crítico, até que a primeira peça do pedido seja entregue ao cliente. O foco dado ao *lead time* se deve a importância crescente do tema nos últimos anos, ao potencial de alavancar as métricas fundamentais da empresa e aos benefícios que a redução do mesmo traz, conforme explicam Chhajed e Kim (1995), Porter (2003) e Mason-Jones e Towill (1999). Suri (1998) destaca que no paradigma da Manufatura Responsiva a principal medida de desempenho é a redução do *lead time*. Esse foco dado ao *lead time* se deve às demandas dos consumidores da sociedade atual, que são impacientes, ávidos por produtos novos, com mais funcionalidades e customizados as suas necessidades, o que faz com que as empresas adotem o tempo como um critério competitivo. Logo, a redução do *lead time* passa a ser importantíssimo para as empresas que queiram obter êxito no atual cenário do mercado.

O estudo envolverá melhorias em variáveis do chão de fábrica, verificando o efeito que elas produzem no *lead time* em um ambiente *flow shop*. Neste trabalho foram definidas seis variáveis, a saber: variabilidade no tempo de processamento, variabilidade no tempo entre as chegadas de ordens, tempo médio de *setup*, tempo médio de reparo da máquina, taxa média de defeitos, tempo médio entre duas falhas consecutivas da máquina.

Para se avaliar o efeito destas ações de melhoria contínua na redução do *lead time* pretende-se utilizar um modelo quantitativo que relaciona as teorias de *System Dynamics* (FORRESTER, 1961) e *Factory Physics* (HOPP; SPEARMAN, 2001). Este modelo foi originalmente criado pelo Professor Dr. Moacir Godinho Filho e pelo Professor Dr. Reha Uzsoy por ocasião do estágio de pós-doutorado realizado pelo Prof. Moacir na *North Carolina State University* em 2007 (GODINHO FILHO; UZSOY, 2008a, 2008b, 2009).

1.2 QUESTÃO E OBJETIVO DE PESQUISA

O presente trabalho visa responder a seguinte questão principal de pesquisa:

Questão principal de pesquisa 1: Qual a melhor alternativa de alocação de programas de melhoria com relação à redução do *lead time*; realizar melhorias em variáveis do chão de fábrica apenas no recurso restrição de capacidade ou, alternativamente, pequenas melhorias em todas as estações de trabalho.

Essas melhorias serão feitas em seis variáveis do chão de fábrica (variabilidade no tempo de processamento, variabilidade no tempo entre as chegadas de ordens, tempo médio de setup, tempo médio de reparo da máquina, taxa média de defeitos, tempo médio entre duas falhas consecutivas da máquina) tendo como variável de resposta o *lead time*. Na investigação da questão de pesquisa principal, duas questões específicas foram levantadas:

Questão de pesquisa específica 1: Qual o ponto no qual investir em 10% em um programa de melhoria em todas as estações torna-se melhor que investir em 50% neste mesmo programa apenas no recurso gargalo?

Questão de pesquisa específica 2: Uma abordagem híbrida, que combine Manufatura Enxuta e Teoria das Restrições, pode ser uma alternativa viável em situações em que seja difícil realizar uma grande melhoria no RRC?

Dessa forma, o objetivo geral e os objetivos específicos do presente trabalho são:

Objetivo geral do trabalho: Identificar se é melhor implementar melhorias em variáveis do chão de fábrica apenas no RRC, como defende a Teoria das Restrições, ou, alternativamente, pequenas melhorias em todas as estações de trabalho, como sugerem as técnicas e ferramentas da Manufatura Enxuta.

Objetivo específico 1: Determinar o ponto no qual investir em 10% em uma única variável em todas as estações torna-se melhor que investir em 50% nesta mesma variável apenas no RRC.

Objetivo específico 2: Verificar se uma abordagem híbrida é uma alternativa viável em situações onde seja difícil realizar uma grande melhoria no RRC.

1.3 JUSTIFICATIVA DA IMPORTÂNCIA DO TEMA

O tema desta dissertação é comparar diferentes alternativas de alocação de melhoria buscando auxiliar um gerente de produção que precise escolher qual o melhor local de implementação da mesma. Duas alternativas são amplamente discutidas na literatura. A primeira, defendida pela TOC, é o foco no recurso restrição de capacidade, ou seja, aquele

recurso que impede o sistema de alcançar o lucro máximo. A segunda é a realização de pequenas melhorias incrementais distribuídas pelo sistema produtivo, o que é proposto por diversas técnicas e ferramentas da Manufatura Enxuta.

Não foi encontrada na literatura uma discussão a respeito de qual a melhor opção de implementação de melhoria, entretanto o trabalho de alguns autores permeiam essa questão. Por exemplo, sobre localização do recurso RRC na linha, Kadiapasaoglu et al. (2000) concluíram que a localização do RRC próxima ao começo do processo melhora o desempenho do mesmo. Em contrapartida, Caridi et al. (2006) afirmam que quando a variabilidade no sistema é alta, é melhor colocar o RRC no começo da linha, no entanto, quando a disponibilidade é baixa os autores sugerem colocar o RRC no final da linha. Há ainda autores como, por exemplo, Betterton e Cox (2008) os quais não acreditam que exista uma diferença significativa no desempenho do processo de acordo com a localização do RRC.

Alguns autores discutem a respeito da melhor forma de alocação de capacidade protetiva, que de acordo com Blackstone Jr. e Cox (2002) pode ser entendida com a capacidade necessária nos recursos não RRCs para manter o WIP nas estações adjacentes ao RRC de modo a dar suporte a utilização total do RRC. Entre esses autores, Davis (1966) e Payne, Slack e Wild (1972), defendem a forma não balanceada, ou seja, a capacidade protetiva dos recursos não RRC deve ser diferente para cada recurso. Por outro lado, há aqueles autores como Smunt e Perkins (1985, 1989) e Thomson e Burford (1988) que não acreditam que as linhas desbalanceadas superem as linhas balanceadas, que são aquelas que possuem capacidade protetiva igual para cada recurso não RRC. Por fim, há aqueles que defendem o chamado efeito boliche (HILLIER; BOLLING'S, 1966; HILLIER; SO, 1996), que consiste em colocar mais capacidade protetiva nas extremidades da linha. Outros autores, como Hein (1999) e Ferguson (2002), buscam reunir as duas opções formando uma abordagem combinada.

Apesar desses estudos, não foi encontrada na literatura estudos que ajudem a decidir qual o melhor local para focar os esforços de melhoria em uma linha de produção. Esse estudo contribui nessa direção. Para representar as alternativas de alocação de programas de melhoria, foi utilizado o modelo híbrido *System Dynamics-Factory Physics*, que permite comparar, por meio de simulação, as duas alternativas, quando são realizadas melhorias nas seis variáveis do chão de fábrica definidas neste trabalho.

1.4 METODOLOGIA DE PESQUISA

Para Carvalho (2000), a metodologia investiga fundamentalmente os métodos, ou seja, os procedimentos que a ciência deve seguir para alcançar êxito, além de se preocupar em articular critérios que permitam avaliar o desempenho de teorias formuladas e decidir entre teorias concorrentes. Nesta seção são abordados tópicos referentes à metodologia de pesquisa, justificando as escolhas e posicionando as mesmas no contexto deste trabalho.

1.4.1 Abordagem de pesquisa

Neste tópico, serão discutidas as diferentes abordagens de pesquisa existentes e a escolha feita neste trabalho, devidamente justificada.

De acordo com Lakatos e Marconi (2001), a abordagem de pesquisa é a conduta que orienta o processo de pesquisa, sendo uma forma de aproximar ou focalizar o fenômeno que se pretende estudar. Segundo Amaratunga et al. (2002), as abordagens de pesquisa podem ser: quantitativa, qualitativa ou uma combinação das duas.

Segundo Bryman (1989), na abordagem quantitativa as principais preocupações são a mensurabilidade, a causalidade, a generalização e a replicação. Para Martins (2010) a mensurabilidade é uma das principais preocupações da abordagem quantitativa por exercer um papel central no processo de realização da pesquisa. Com a finalidade de testar hipóteses, um conjunto de variáveis passível de ser mensurado deve ser bem definido. Esse processo é denominado operacionalização. A causalidade procura explicar como as coisas são e o relacionamento de causa e efeito entre as variáveis. A generalização trata da possibilidade de os resultados obtidos serem generalizados para além dos limites da pesquisa e a replicação é a possibilidade de um pesquisador repetir uma pesquisa e encontrar os mesmos resultados.

Já as características da pesquisa qualitativa, de acordo com Bryman (1989), são: ênfase na interpretação subjetiva dos indivíduos, delineamento do contexto do ambiente da pesquisa, abordagem não muito estruturada, múltiplas fontes de evidências, importância da concepção da realidade organizacional e proximidade com o fenômeno estudado.

A utilização da abordagem combinada, de acordo com Martins (2010) permite que a vantagem de uma amenize a desvantagem da outra, sendo possível fortalecer as abordagens combinando-as.

Este trabalho utilizará a abordagem quantitativa, pois há controle sobre as variáveis por parte do pesquisador, havendo preocupação em mensurá-las e entender as relações de causa e efeito. É possível afirmar que não se enquadra na abordagem qualitativa, principalmente pelo fato de não haver a ênfase na perspectiva do indivíduo. Não será feito uso da abordagem combinada, pois, de acordo com Martins (2010) apesar de ser uma abordagem complexa e poderosa, o tempo necessário para a utilização da mesma não é condizente com uma dissertação de mestrado.

1.4.2 Procedimentos de pesquisa

Há diversos procedimentos de pesquisa adotados na área de gestão de operações, a saber: *survey*, estudo de caso, modelagem, simulação, estudo de campo, experimento e teórico-conceitual (FILIPPINI, 1997). Nesse tópico, serão discutidos os procedimentos utilizados no presente trabalho para a realização desta pesquisa, ou seja, são apresentados os procedimentos modelagem/simulação e o teórico conceitual.

A pesquisa do tipo teórico conceitual pode ser entendida como discussões conceituais a partir da literatura, revisões bibliográficas e modelagens conceituais (FILIPPINI, 1997; BERTO; NAKANO, 2000). Esse procedimento de pesquisa é utilizado na seção 3 do presente trabalho, onde é feita a revisão da literatura a respeito da comparação entre a Manufatura Enxuta e a Teoria das Restrições.

A respeito da modelagem/simulação Meredith et al. (1989) e Craighead e Meredith (2008) explicam que é importante compreender dois padrões principais, a fonte de dados da pesquisa para análise e a orientação do pesquisador.

A fonte de dados pode ser natural, ou seja, empírica, diretamente observada ou artificial, que é tipicamente uma reconstrução hipotética (MEREDITH et al., 1989; CRAIGHEAD; MEREDITH, 2008). O presente trabalho fará uso de uma simulação computacional que é uma reconstrução hipotética da realidade, podendo, portanto, ser classificada como artificial. O estudo não se enquadra na classe empírica, pois não há presença de dados empíricos.

Quanto à orientação do pesquisador ela pode ser racional, ou seja, altamente dedutiva, axiomática, ou, existencial, isto é, indutiva, interpretativa (MEREDITH et. al.,

1989; CRAIGHEAD; MEREDITH, 2008). De acordo com Meredith et. al. (1989) a pesquisa em gestão da produção e operações baseada em modelos quantitativos pode ser classificada como uma abordagem de geração de conhecimento racional. Apoiado nesta afirmação a presente simulação pode ser classificada como racional.

Ainda a respeito dos modelos quantitativos, há basicamente duas classes: empírica e axiomática (BERTRAND; FRANSOO, 2002). A pesquisa empírica é primariamente dirigida por descobertas e medidas empíricas, sendo que a preocupação principal do pesquisador é assegurar que exista adesão entre observações a ações na realidade e o modelo elaborado daquela realidade. Já a pesquisa axiomática é primariamente dirigida a modelos de problemas idealizados. Nessa classe, a preocupação do pesquisador é obter soluções para o modelo em questão e assegurar que tais soluções ajudem a esclarecer a estrutura do problema descrito no modelo. Ela ajuda a entender o comportamento de certas variáveis do modelo e fornece conhecimento sobre como manipular as mesmas (MARTINS, 2010). De acordo com estas definições, esta pesquisa não poderia ser classificada como empírica, pois não haverá descobertas e medidas empíricas, e sim uma preocupação em entender o comportamento de seis variáveis do chão de fábrica, visualizando o efeito que as mesmas produzem no *lead time*. Trata-se, portanto, de uma pesquisa axiomática.

A classe axiomática pode ser dividida em pesquisa normativa ou descritiva. A normativa está preocupada em desenvolver normas, políticas, estratégias e ações a fim de melhorar os resultados disponíveis na literatura. Já a pesquisa descritiva preocupa-se em analisar modelos quantitativos, com o propósito de entender o processo modelado (MARTINS, 2010). A presente pesquisa pode ser classificada como descritiva, tendo em vista que a preocupação é analisar um modelo quantitativo que combina de forma híbrida as abordagens *System Dynamics* e *Factory Physics*, não tendo como objetivo o estabelecimentos de normas, políticas e estratégias.

A respeito da simulação, Berends e Romme (1999) distinguem dois tipos: física e matemática. A primeira envolve a realização de experimentos com objetos reais os quais são modelos de uma parte da realidade. Já a simulação matemática os relacionamentos de um sistema são expressos em fórmulas matemáticas, o que pode ser feito de duas maneiras: analítica e numérica. Na simulação analítica o modelo busca uma solução ótima única. No que diz respeito à simulação numérica, o objetivo do modelo é lidar com o comportamento dos sistemas (FORRESTER, 1961). Baseado nesta explicação, a simulação do presente estudo é classificada como matemática, pois os relacionamentos serão expressos por meio de

modelos matemáticos, sem a experimentação com objetos reais. Dentro da simulação matemática, o trabalho pode ser classificado como numérico, pois o objetivo é entender o comportamento de diferentes formas de alocação de programas de melhoria, não havendo interesse em se buscar uma solução ótima única.

1.4.3 Método de pesquisa

Neste tópico, serão abordados aspectos referentes ao método de pesquisa empregado neste trabalho.

Tendo definido que a abordagem de pesquisa utilizada nesse trabalho é a quantitativa, de acordo com Martins (2010), os métodos de pesquisa mais apropriados para essa abordagem, na área de engenharia de produção são: pesquisa de avaliação (*survey*), modelagem/simulação, experimento e quase-experimento.

A pesquisa *survey* envolve uma coleção de informações sobre indivíduos (através de questionários, telefonemas, entrevistas pessoais, etc.) ou sobre a unidade social da qual eles fazem parte (FORZA, 2002). Para Rea e Parker (1992), o processo de amostragem do *survey* determina informações sobre grandes populações com um nível de precisão conhecido. Segundo Miguel e Lee Ho (2010), neste tipo de pesquisa o pesquisador geralmente avalia uma amostra significativa de um problema a ser investigado a fim de extrair conclusões acerca dessa amostra.

Bertrand e Fransoo (2002) explicam que a modelagem baseia-se na hipótese que modelos podem explicar o comportamento ou parte do comportamento dos processos reais ou então capturar os problemas de tomada de decisões enfrentados pelos gestores em operações reais. Segundo esses autores, na modelagem o relacionamento entre as variáveis são descritos como causais e são explicitados. A simulação tem por objetivo construir um modelo de um processo individual ou em grupo e experimentá-lo através da replicação do processo através da manipulação das variáveis e seus inter-relacionamentos dentro do modelo (BERENDS; ROMME, 1999).

No experimento ou quase-experimento, o pesquisador delineia um experimento para testar o relacionamento entre as variáveis de pesquisa, manipulando as variáveis independentes e observando o resultado na variável dependente. O que diferencia o experimento do quase-experimento é que no primeiro, o pesquisador isola as variáveis que não fazem parte do experimento (MARTINS, 2010).

Devido aos objetivos desse trabalho o método de pesquisa adotado será o de modelagem e simulação, pois este estudo pretende avaliar qual o efeito de diferentes formas de alocação de programas de melhoria produzem no *lead time*. Para realizar este trabalho será realizada uma simulação baseado no modelo híbrido *System Dynamics-Factory Physics*. Este trabalho não poderia utilizar o método *survey*, pois não haverá coleta de dados de indivíduos ou empresas, além de não haver a busca de informações em uma grande população. Também não utilizará os métodos de experimento ou quase-experimento, pois não será feito o delineamento de um experimento propriamente dito, além de não haver a determinação de um grupo de controle, um de grupo experimento e um ambiente real para que testes sejam executados.

1.4.4 Técnica de pesquisa

Neste tópico, são apresentados, de maneira sucinta, aspectos da técnica de pesquisa utilizada.

As técnicas de pesquisa podem ser de diversos tipos: questionários, entrevistas, observação, análises estatísticas, etc. Nesse estudo a técnica utilizada é o *software* Vensim, de modelagem e simulação. O Vensim é um *software* livre de modelagem visual que permite desenvolver, simular e analisar modelos de *System Dynamics*.

O Quadro 1 sumariza as escolhas referentes ao método de pesquisa necessárias para a realização dessa dissertação.

QUADRO 1:Síntese da escolhas do método de pesquisa.

Abordagem de pesquisa	Quantitativa
Métodos de pesquisa	Simulação/Modelagem e Teórico Conceitual
Classificação da modelagem	Pesquisa axiomática descritiva
Classificação da simulação	Simulação matemática-numérica
Técnica de pesquisa	<i>Software</i> Vensim

1.4.5 Aspectos metodológicos aplicados ao presente trabalho

Neste tópico são apresentados os aspectos metodológicos da maneira como foram utilizados no presente trabalho. Mais especificamente, a Figura 1 apresenta os passos necessários para a realização da pesquisa, conjuntamente com o método de pesquisa utilizado e em qual capítulo cada passo foi inserido.

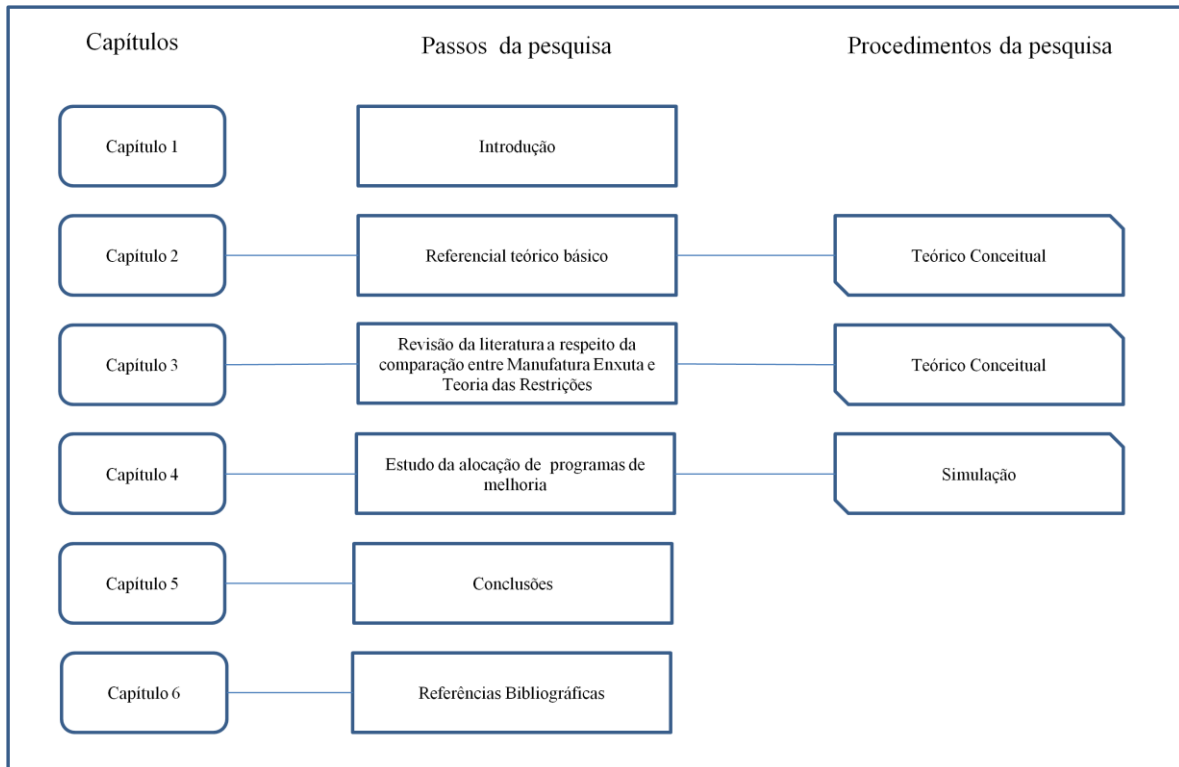


Figura 1 – Aspectos metodológicos aplicados ao presente trabalho

Passo 1 – Introdução: Neste passo são desenvolvidos e apresentados tópicos referentes a introdução dessa dissertação. São apresentados o tema, justificativa e objetivos da pesquisa, além dos aspectos metodológicos necessários para a realização da mesma;

Passo 2 – Referencial teórico básico: Neste passo é mostrado o referencial teórico básico a respeito da Manufatura Enxuta e a Teoria das Restrições utilizando o método de pesquisa Teórico Conceitual;

Passo 3 – Revisão da literatura a respeito da comparação entre Manufatura Enxuta e Teoria das Restrições: Neste passo é feita uma extensa revisão da literatura buscando comparar as duas abordagens de gestão investigadas neste trabalho. A comparação foi feita utilizando o método de pesquisa Teórico Conceitual e a metodologia utilizada é melhor explicada na seção 3.2;

Passo 4 – Estudo da alocação de programas de melhoria: Neste passo são apresentadas as comparações entre formas diferentes de alocação de programas de melhoria utilizando como método de pesquisa a Modelagem/Simulação de diferentes cenários. Neste passo são respondidas as questões de pesquisa 1, 2 e 3;

Passo 5 – Conclusões: Neste passo são apresentadas as principais conclusões constatadas e são sugeridas pesquisas futuras;

Passo 6 – Referências Bibliográficas: São listadas todas as referências utilizadas para a realização do presente trabalho.

No que concerne a estrutura, a dissertação contém 6 capítulos, divididos da seguinte maneira:

Esse primeiro capítulo apresenta uma breve introdução, mostrando a motivação e importância do tema, as questões de pesquisa e objetivos específicos, bem como a metodologia de pesquisa e as escolhas metodológicas, devidamente justificadas, necessárias para o desenvolvimento deste trabalho.

O segundo capítulo mostra o referencial teórico básico utilizado neste trabalho, ou seja, a Manufatura Enxuta e a Teoria das Restrições. Esse capítulo visa fornecer o embasamento teórico necessário para a realização da comparação entre essas duas abordagens de gestão.

O terceiro capítulo é uma revisão da literatura a respeito da comparação entre a Manufatura Enxuta e a Teoria das Restrições.

O quarto capítulo apresenta o estudo de diversas maneiras de alocar programas de melhoria buscando responder as questões de pesquisa deste trabalho.

O quinto capítulo apresenta as principais conclusões obtidas respondendo as questões de pesquisa e sugerindo futuras pesquisas.

Por fim, o sexto capítulo apresenta as referências bibliográficas utilizadas.

CAPÍTULO 2: REFERENCIAL TEÓRICO BÁSICO

2.1 INTRODUÇÃO

Partindo do princípio que este trabalho tenha como objetivo estudar a alocação de programas de melhoria, esse capítulo visa apresentar o referencial teórico básico a respeito de duas importantes abordagens de gestão e o modo como se propões a realizar melhorias no chão de fábrica, em conjunto com trabalhos que discutem conceitos relativos ao tema de pesquisa da presente dissertação. Além disso, será apresentado o modelo híbrido *System Dynamics-Factory Physics* utilizado neste trabalho para comparar as duas alternativas. O capítulo está estruturado da seguinte forma: na seção 2.2 são apresentados conceitos referentes à Manufatura Enxuta, na seção 2.3 são apresentados aspectos referentes à Teoria das Restrições, na seção 2.4 são apresentados trabalhos que discutem conceitos com um foco próximo ao tema de pesquisa da presente dissertação, na seção 2.5 é apresentado o modelo híbrido *System Dynamics-Factory Physics*, e na seção 2.6 são apresentadas as considerações finais deste capítulo.

2.2 MANUFATURA ENXUTA

O Sistema Toyota de Produção (STP), chamado no ocidente de Manufatura Enxuta (WOMACK; JONES; ROOS, 1992) surgiu por volta de 1950, no Japão, na empresa Toyota e foi a segunda maior evolução em processos administrativos eficientes depois do sistema de produção em massa inventado por Henry Ford (LIKER, 2005).

Womack e Jones (1998) definem Manufatura Enxuta como sendo uma nova abordagem segundo a qual existe uma forma melhor de organizar e gerenciar os relacionamentos de uma empresa com os clientes, cadeia de fornecedores, desenvolvimento de produtos e operações de produção. Ela é enxuta porque é uma forma de fazer cada vez mais com cada vez menos (menos esforço, equipamento, máquina, espaço etc.). De acordo com Shingo (1989) a Manufatura Enxuta pode ser definida como um sistema que visa à eliminação total das perdas obtendo redução de custos. Ohno (1997) explica que o principal

objetivo do STP foi aumentar a variedade de produtos, produzindo muitos modelos em pequenas quantidades.

Nas próximas seções é apresentado o histórico dessa abordagem de gestão, bem como seus princípios gerais, elementos e ferramentas.

2.2.1 Histórico

O STP surgiu devido à necessidade de descobrir um novo método de produção que eliminasse o desperdício e ajudasse a alcançar a produtividade das empresas norte-americanas (OHNO, 1997).

A necessidade de um novo método de produção se deve ao fato de que o Fordismo não conseguia mais lidar com as necessidades impostas pelo mercado. Ohno (1997) afirma que a essência do Sistema Toyota de Produção consistiu em conceber um sistema de produção alternativo ao Fordismo que fosse capaz de produzir competitivamente uma série restrita de produtos diferenciados e variados.

Entretanto, após a Segunda Guerra Mundial o Japão estava devastado e enfrentando uma série de problemas (WOMACK; JONES; ROOS, 1992):

- i. O mercado doméstico era limitado e requeria uma variedade grande de veículos;
- ii. A força de trabalho nativa do Japão não aceitava mais ser tratada como custo variável ou peça intercambiável. Além disso, não existiam os trabalhadores imigrantes nesse país, os quais constituíam o grosso da força de trabalho no ocidente;
- iii. A economia do país estava devastada pela guerra;
- iv. Havia a ameaça de entrada de grandes produtores mundiais no Japão.

Diante de tais dificuldades e da necessidade de alcançar os Estados Unidos, Taichi Ohno, então administrador da empresa Toyota, começou a construir o que ficaria conhecido por Sistema Toyota de Produção, e mais tarde popularizado pelo termo Manufatura Enxuta (LIKER, 2005).

A primeira diferença em relação ao Fordismo ocorreu na década de 20, quando o fundador da Toyota, Toyoda Sakichi, inventou uma máquina de tear que parava sempre que a quantidade desejada fosse atingida ou um problema fosse detectado. Essa invenção permitiu

a separação entre o homem e a máquina, rompendo a lógica de “um homem/um posto/uma tarefa” (ANTUNES, 2008). Isso ficou conhecido por autonomia, que será explicada com mais detalhes na seção 2.2.3.3.

De acordo com Antunes (2008), a segunda diferença entre o Sistema Toyota e o Fordismo ocorre quando Shigeo Shingo propõe visualizar a produção como uma rede de processos e operações, a partir da qual propõe um instrumento de análise de sistemas produtivos intitulado Mecanismo da Função Produção (MFP). Shingo observa que é possível melhorar uma dada operação sem que isso implique em uma melhora nos processos.

Essa concepção de MFP, apoiada na lógica das perdas na fábrica desenvolvida por Ohno e Shingo, será materializada em um conjunto de princípios e técnicas, entre eles (ANTUNES, 2008):

- O sistema *Kanban* de sincronização e melhorias dos sistemas produtivos, desenvolvidos por Taichi Ohno a partir da lógica do supermercado americano;
- A aplicação sistemática do princípio da autonomia, desenvolvido originalmente por Toyoda Sakichi e sistematizado por Taichi Ohno;
- A ideia de troca rápida de ferramentas (TRF), desenvolvida originalmente por Shigeo Shingo e que rompeu com a lógica de altos tempos de preparação/lotos grandes/ longos tempos de atravessamento, típica do paradigma anterior;
- O controle de qualidade zero defeitos, estratégias de inspeção na fonte e *poka-yoke*, sistematizado por Shigeo Shingo;
- A operação padrão desenvolvida, a partir da noção de tempos e métodos, por Taichi Ohno;
- A melhoria no leiaute, e mais especificamente, na chamada produção em fluxo unitário de peças;
- A ideia ampla de melhoria contínua, com apoio de técnicas utilizadas em eventos do tipo *Kaizen*. De acordo com Dias (2009) *Kaizen* pode ser entendida como mudança boa, mudar para melhor ou melhoria contínua. Imai¹(1986) apud Slack, Chambers e Johnston (2002) acrescenta que *Kaizen* significa melhoramentos contínuos que envolvem todo o mundo – administradores e trabalhadores igualmente.

¹ IMAI, M. *Kaizen: the key to Japan's competitive success*. Nova Iorque: McGraw-Hill, 1986.

Dias (2009) explica que o evento *Kaizen* é uma ferramenta efetiva para o desenvolvimento e implantação rápida de melhorias dentro de uma empresa, o qual normalmente é feito com poucos recursos, sem a necessidade de altos investimentos.

- A utilização de técnicas americanas que foram e são intensivamente adotadas na Toyota, como é o caso da engenharia de valor/análise de valor.

Antunes (2008) afirma ainda que mais importante que todos esses princípios e técnicas é sua articulação sistêmica, que vai dar origem ao chamado Sistema Toyota de Produção.

Nas próximas seções serão apresentados os princípios da Manufatura Enxuta e será dado enfoque as suas principais ferramentas.

2.2.2 Princípios gerais da Manufatura Enxuta

Womack e Jones (1998) apresentam 5 princípios do pensamento enxuto, a saber: especificar o valor, identificar a cadeia de valor, fluxo, produção puxada e perfeição. A seguir será apresentado um pouco sobre cada um deles.

- i. Especificar o valor: O valor é o ponto de partida do pensamento enxuto. Ele deve primeiramente definir precisamente o que é valor em termos de produtos específicos feitos para clientes específicos com necessidades específicas a preços específicos. Ele só pode ser definido pelo cliente final. Especificar o valor com precisão é o primeiro passo essencial no pensamento enxuto;
- ii. Identificar a cadeia de valor: A cadeia de valor pode ser definida como o conjunto de todas as ações específicas necessárias para se levar um produto específico a passar por todas as tarefas gerenciais críticas de um negócio. A identificação da cadeia de valor quase sempre expõe quantidades enormes de *muda*, mostrando que existem três tipos de ação ao longo da mesma: (i) Etapas que certamente criam valor; (ii) muitas outras etapas não criam valor, mas são necessárias devido as atuais tecnologias e ativos de produção; (iii) etapas adicionais que não criam valor e devem ser eliminadas;

- iii. Fluxo: Neste passo é necessário fazer com que as etapas restantes, que criam valor, fluam. Isso requer uma mudança da mentalidade, passando do trabalho organizado em departamentos e em lotes para equipes de produção com o pensamento de fazer o valor fluir;
- iv. Produção puxada: Após ter implantado os princípios anteriores, a empresa possuirá a capacidade de projetar, programar e fabricar exatamente o que o cliente quer e quando ele quer. É possível então “jogar fora” a previsão de vendas e deixar simplesmente que o cliente puxe o produto, ao invés de empurrar para ele um produto muitas vezes indesejado;
- v. Perfeição: Após ter implantado os quatro princípios anteriores, a perfeição deve ser buscada de duas maneiras: melhorias contínuas (*Kaizen*) e melhorias radicais (*Kaikaku*).

Liker (2005) afirma que a base do STP está alicerçada em 14 princípios que constituem a cultura do STP, e não apenas em ferramentas e elementos do STP. Os 14 princípios deste autor são mais abrangentes e expandem os 5 princípios que Womack e Jones (1998) apresentam em seu livro. Liker divide os 14 princípios em 4 categorias amplas descritas a seguir:

- I. Filosofia de longo prazo:
 - 1. Princípio 1: Basear as decisões administrativas em uma filosofia de longo prazo, mesmo em detrimento de metas financeiras de curto prazo.
- II. O processo certo produzirá os resultados corretos:
 - 2. Princípio 2: Criar um fluxo de processo contínuo para trazer os problemas à tona,
 - 3. Princípio 3: Usar sistemas puxados para evitar a superprodução,
 - 4. Princípio 4: Nivelar a carga de trabalho (*Heijunka*),
 - 5. Construir uma cultura de parar e resolver os problemas, obtendo a qualidade na primeira tentativa,
 - 6. Tarefas padronizadas são a base para a melhoria contínua e a capacitação dos funcionários,
 - 7. Usar controle visual para que nenhum problema fique oculto,

8. Usar somente tecnologia confiável e completamente testada que atenda aos funcionários e processos.
- III. Valorização da organização por meio do desenvolvimento de seus funcionários e parceiros:
9. Desenvolver líderes que compreendam completamente o trabalho, que vivam a filosofia e a ensinem aos outros,
 10. Desenvolver pessoas e equipes excepcionais que sigam a filosofia da empresa,
 11. Respeitar sua rede de parceiros e de fornecedores desafiando-os e ajudando-os a melhorar.
- IV. A solução contínua de problemas na origem estimula a aprendizagem organizacional:
12. Ver por si mesmo para compreender completamente a situação,
 13. Tomar decisões lentamente por consenso, considerando completamente todas as opções; implementá-las com rapidez,
 14. Tornar-se uma organização de aprendizagem através de reflexão incansável e da melhoria contínua.

2.2.3 Principais conceitos, técnicas e ferramentas da abordagem Manufatura Enxuta

Nesta seção são apresentadas algumas das principais ferramentas da Manufatura Enxuta. Dentre elas, são discutidas a redução do desperdício, o mapeamento do fluxo de valor, a automação, o *Just-in-Time*, o *Kanban*, o *Heijunka* e a Troca Rápida de Ferramentas.

2.2.3.1 Redução do desperdício (*Muda*)

Ohno (1997) afirma que a base do STP é a absoluta eliminação do desperdício, sendo os dois pilares necessários a sustentação deste sistema o *Just-in-time* e a automação. Womack e Jones (1998) explicam que o desperdício/perda (conhecido por *muda* em japonês) pode ser entendido como qualquer atividade humana que absorve recursos, mas não cria valor, como por exemplo: produção de produtos defeituosos, produção de estoques, movimentação de funcionários e mercadorias etc.

Ohno (1997) alerta que ao pensar sobre a eliminação total do desperdício é necessário ter em mente que: (i) o aumento da eficiência só tem sentido quando implica em redução de custos; (ii) deve-se observar a eficiência de cada operador e de cada linha; em seguida ele recomenda observar os operadores como um grupo e, finalmente, a eficiência de toda a fábrica. **A eficiência deve então ser melhorada em cada estágio e, ao mesmo tempo, ao longo de toda a fábrica.**

Ohno (1997), por meio da expressão 1, explica que a verdadeira melhoria na eficiência ocorre quando o desperdício é reduzido a zero levando a porcentagem de trabalho para 100%.

$$\text{Capacidade atual} = \text{trabalho} + \text{desperdício} \quad (1)$$

Ohno (1997) e Liker (2005) explicam que a Toyota identificou 7 grandes tipos de desperdícios:

- i. **Superprodução:** Produção de itens para os quais não há demanda, gerando perda em excesso de pessoal e estoque, além de custos com transporte devido ao estoque em excesso;
- ii. **Tempo disponível (espera):** Funcionários que servem apenas para vigiar uma máquina enquanto a mesma está funcionando ou que ficam esperando por algum motivo (falta de material, atraso no processamento, falta de ferramenta, quebra de máquina, gargalos de capacidade etc.);
- iii. **Transporte:** Perdas com movimentação de estoque, materiais, peças ou produtos acabados para dentro ou fora do estoque ou entre processos.
- iv. **Processamento em si:** Etapas desnecessárias para processar peças, processamento ineficiente devido à má qualidade da ferramenta ou ao projeto do produto mal concebido. Além disso, há perdas quando se oferece produtos com qualidade superior a requerida pelo mercado;
- v. **Excesso de estoque:** Excesso de matéria prima, estoque em processo ou produtos acabados, causando longos *lead times*, obsolescência, produtos danificados, custos com transporte e armazenagem. O estoque em excesso oculta problemas, como o desbalanceamento da produção, entregas atrasadas, defeitos etc.;

- vi. **Movimento:** Qualquer movimento desnecessário que os funcionários executam, como por exemplo, procurar ferramentas, pegar ou empilhar peças, caminhar etc.;
- vii. **Produtos defeituosos:** Produção de peças defeituosas ou correção de defeitos. Consertar ou retrabalhar, descartar ou substituir a produção e inspecionar significam perdas de manuseio, tempo e esforço.

Liker (2005) acrescenta ainda um oitavo tipo chamado por ele de desperdício de criatividade dos funcionários, que é a perda de tempo, ideias, habilidades, melhorias e oportunidades de aprendizagem por não envolver os funcionários.

Ohno (1997) e Liker (2005) afirmam que dentre os 7 desperdícios listados o pior é a superprodução, pois é ela que gera a maioria dos outros tipos de perda.

2.2.3.2 Mapeamento do fluxo de valor (MFV)

O mapeamento do fluxo de valor é uma ferramenta da produção enxuta que ajuda a enxergar e entender o fluxo de material e informação à medida que o processo segue o fluxo de valor (ROTHER; SHOOK, 2003). Segundo Rentes (2000), o fluxo de valor pode ser entendido como o conjunto de todas as atividades necessárias desde a obtenção da matéria-prima até a entrega do produto ao consumidor final.

O método consiste em, após seguir o caminho percorrido pelo material desde o fornecedor até o cliente, representar visualmente cada processo no fluxo de material e de informação. A partir dessa representação visual é possível identificar os grandes focos de desperdícios. Para isso, são elaborados dois mapas: o MFV atual e o MFV futuro. O primeiro representa a realidade atual da empresa e o segundo aonde a empresa pretende chegar (ROTHER; SHOOK, 2003).

De acordo com Rother e Shook (2003) as principais vantagens do MFV são:

- i. Ajuda a ter uma visão sistêmica do fluxo de valor;
- ii. Ajuda a identificar as fontes de desperdício do fluxo;
- iii. Fornece uma só linguagem para se tratar processos de manufatura;
- iv. Tornam as decisões do fluxo visíveis, contemplando inclusive detalhes;
- v. Evita a implementação de técnicas isoladamente;
- vi. O mapa torna-se uma referência para o plano de implementação enxuta;
- vii. Mostra a relação entre o fluxo de informação e de materiais;

- viii. É uma ferramenta qualitativa, que descreve em detalhes como sua unidade produtiva deveria operar para criar este fluxo.

2.2.3.3 Autonomiação

De acordo com Shingo (1996) a autonomiação surgiu da evolução das ideias a respeito da separação do trabalhador da máquina. Essa separação ocorreu com o objetivo de promover maior eficiência no uso do recurso humano e de produção. Na Toyota os trabalhadores não estão vinculados a uma única máquina, sendo responsáveis por 5 máquinas ou mais, alimentando uma, enquanto as outras trabalham automaticamente.

Esse modo de organizar o trabalho requer a autonomiação (automação com um toque humano), ou seja, são máquinas que param instantaneamente quando detectam um erro, evitando os custos da produção de uma grande quantidade de produtos defeituosos. Essa parada automática da máquina é conhecida por *baka-yoke* (OHNO, 1997). Liker (2005) afirma que a autonomiação pode ser definida como um equipamento dotado de inteligência para desligar-se ao detectar um problema. Esse sistema impede que produtos defeituosos passem adiante, ou seja, reforça a ideia de fazer certo da primeira vez. Quando o equipamento para, um dispositivo de sinalização chamando *andon* (sinais luminosos e/ou sonoros) é acionado, indicando a necessidade de ajuda para solucionar o problema.

Ohno (1997) explica que a prática de perguntar “por quê?” cinco vezes ajuda a descobrir a causa raiz de um problema, evitando o erro de atacar uma causa superficial, que acabaria por não eliminar o problema, e o mesmo surgiria novamente. O exemplo fornecido por Ohno (1997) é exatamente a respeito de uma máquina que para:

1. Por que a máquina parou?

Porque houve uma sobrecarga e o fusível queimou.

2. Por que houve uma sobrecarga?

Porque o mancal não estava suficientemente lubrificado.

3. Por que não estava suficientemente lubrificada?

Porque a bomba de lubrificação não estava bombeando suficientemente.

4. Por que não estava bombeando suficientemente?

Porque o eixo da bomba estava gasto e vibrando.

5. Por que o eixo estava gasto?

Porque não havia uma tela acoplada e entrava limalha.

A técnica de repetir “por que” cinco vezes foi útil para descobrir a causa raiz do problema. Ohno (1997) afirma que essa técnica é a base “científica” do Sistema Toyota.

2.2.3.4 *Just-in-Time e Kanban*

Para Ohno (1997), *Just-in-time* significa que em um processo em fluxo, as partes corretas necessárias alcançam a linha de montagem no momento certo e somente na quantidade necessária. Quando uma empresa estabelece esse fluxo integralmente pode chegar ao estoque zero. Liker (2005) explica que JIT é um conjunto de princípios, técnicas e ferramentas que viabilizam a produção e entrega em pequenas quantidades, com *lead times* curtos para atender as necessidades dos clientes, ou seja, o JIT entrega os produtos na hora certa e na quantidade exata.

O JIT tem como objetivo principal a melhoria contínua do processo produtivo, por meio da redução de estoques, os quais tendem a camuflar os problemas. Existem três grandes grupos de problemas (CORREA; GIANESI,1993):

- i. Problemas de qualidade: quando existem problemas relacionados a qualidade, gerando refugo e retrabalho, o estoque serve como garantia de que os trabalhos posteriores não sofrerão interrupções;
- ii. Problemas de quebra de máquina: quando por algum motivo a máquina quebra, o estoque serve para evitar que as estações posteriores, alimentadas pelo material processado por essa máquina, parem.
- iii. Problemas de preparação de máquina: devido à necessidade de se realizar preparações de máquina e ao custo das mesmas, há a tendência de se trabalhar com lotes grandes com o intuito de ratear o custo da preparação em um número grande de peças. Essa produção em grandes lotes gera estoques.

Para exemplificar como os estoques camuflam os problemas, uma analogia amplamente conhecida se refere a um barco navegando em um lago com profundidade irregular. À medida que o estoque em processo é reduzido (representado pelo nível da água) os problemas aparecem (as pedras). Tornando os problemas visíveis é possível atacá-los tornando o fluxo de produção mais suave, mesmo com níveis de estoques cada vez mais baixos (CORREA; GIANESI, 1993).

Uma prática comum nas empresas é adotar como medida de desempenho a utilização dos equipamentos. No JIT a ênfase da gerência está no fluxo de produção, ou seja,

estabelecer um fluxo suave e contínuo (CORREA; GIANESI, 1993). O fluxo significa que o processo de obtenção da matéria prima é acionado quando o cliente executa o pedido. A matéria prima necessária para o atendimento deste pedido flui rapidamente pelo processo produtivo de forma a atender a demanda do cliente. Para Ohno o tamanho ideal do lote é unitário, o que contribuiria para o estabelecimento do fluxo. Entretanto, mesmo na Toyota esse ideal não é atingido, mas a ideia básica de redução do tamanho do lote deve ser buscada. Um exemplo de fluxo pode ser visto no processo de criação de carros da Toyota, em que a mesma leva menos de um ano para criar veículos, enquanto seus concorrentes levam mais de dois. A redução do tempo de fluxo elimina a superprodução e o estoque e implica em uma série de benefícios, entre eles melhor qualidade, menor custo, melhor prazo de entrega, liberação de espaço, melhor flexibilidade, maior produtividade, aumento da motivação, dentre outros (LIKER, 2005).

Um importante conceito relacionado ao fluxo é o *Takt-Time*. Ele estabelece a pulsação do fluxo unitário de peças, ou em outras palavras, estabelece o ritmo da produção. O *Takt-time* estabelece a razão de peças a serem produzidas por unidade de tempo de maneira a atender a demanda do cliente. Trabalhar acima do *Takt* significa superprodução e abaixo implica em congestionamento no sistema produtivo (LIKER, 2005).

Ohno (1997) explica que um engano comum das pessoas fora da Toyota é pensar que Sistema Toyota e o *Kanban* são a mesma coisa. *Kanban* significa sinal, um cartão que sinaliza que a linha de montagem utilizou as peças e precisa de mais (LIKER, 2005). O STP é o método de produção e o sistema *Kanban* é a forma como ele é administrado. O *Kanban* foi uma ideia de Ohno baseada nos supermercados americanos, sendo considerado o método de operação do STP, uma forma de atingir o JIT, sua finalidade é o JIT. Segundo Liker (2005) a operação completa da Toyota utilizando o *Kanban* é conhecida como “sistema *Kanban*” para administrar e garantir o fluxo e a produção de materiais em um sistema de produção que opera por meio do JIT (LIKER, 2005).

Os benefícios do *Kanban* são diversos. Ohno (1997) destaca que o *Kanban* evita a superprodução, pois impõe o JIT, evitando o aparecimento de estoques extra. Além disso, o *Kanban* enfatiza o objetivo de eliminar desperdício, pois deixa claro imediatamente o que é desperdício, tornando possível propor melhorias. O autor destaca uma série de funções e regras de utilização do *Kanban*, apresentados no Quadro 2.

QUADRO 2 Funções e regras de utilização do Kanban

Funções do <i>Kanban</i>	Regras para utilização
1 Fornecer informação sobre apanhar ou transportar	O processo subsequente apanha o número de itens indicados pelo <i>Kanban</i> no processo precedente
2 Fornecer informação sobre a produção	O processo inicial produz itens na quantidade e sequência indicada pelo <i>Kanban</i>
3 Impedir a superprodução	Nenhum item é produzido ou transportado sem um <i>Kanban</i>
4 Servir como uma ordem de fabricação afixada às mercadorias	Serve para afixar um <i>Kanban</i> às mercadorias
5 Impedir produtos defeituosos pela identificação do processo que os produz	Produtos defeituosos não são enviados para o processo seguinte. O resultado é mercadorias 100% livres de defeitos
6 Revelar problemas existentes e mantém o controle de estoques	Reduzir o número de <i>Kanbans</i> aumenta sua sensibilidade aos problemas

Fonte: Ohno (1997).

A primeira regra do *Kanban* nasceu da ideia de olhar as coisas pelo avesso, ou seja, do fim do processo para o início. Para aplicar essa regra é necessária uma mudança no modo de pensar, revertendo o fluxo tradicional de produção, transferência e entrega. Isso implica na eliminação do programa de produção, tendo em vista que a mesma é controlada pelo *Kanban*, que se torna uma ordem de fabricação para cada processo. A respeito da segunda regra é imprescindível que os operadores e equipamentos de cada estágio produtivo estejam preparados para produzir as quantidades corretas nos momentos exatos. O problema surge quando as retiradas de peças são feitas de maneira irregular em termos de tempo e quantidade. Para lidar com esse problema o STP utiliza o chamado nivelamento da produção, no qual os picos de demanda devem ser rebaixados e os vales devem ser elevados. Portanto, o *Kanban* serve como um pedido de retirada, transporte e como uma ordem de fabricação. A regra três proíbe que qualquer item seja retirado ou produzido sem um *Kanban*; a regra quatro exige que um *Kanban* seja afixado a cada mercadoria; a cinco exige produtos 100% livres de defeitos; finalmente a seis pede a redução do número de *Kanbans* (OHNO, 1997).

A Figura 2 apresenta o esquema de funcionamento de uma das possíveis variações do *Kanban*. Fernandes e Godinho Filho (2010, p. 108) explicam:

O funcionamento do *Kanban* de duplo cartão é o seguinte: no estoque de entrada de cada centro produtivo têm-se contenedores com cartão de requisição (R) e material a ser utilizado no centro. No estoque de saída de cada centro, têm-se contenedores com cartão de ordem de produção (P) e material já processado no centro. O cliente requisita o produto do estoque de saída do último estágio; o material vai para ele e o cartão P vai para o painel KP (cada item ocupa uma coluna do painel dividida em três faixas (vermelha, amarela e verde)). Quando o operador da 1ª estação de um estágio fica desocupado, ele pega um cartão P do item com mais cartões na faixa vermelha (desempate, mais cartões na faixa amarela); pega o material de entrada, coloca os cartões R (até então atrelados a esse material) no porta-cartões R e então o

material processado é colocado no estoque de saída do centro juntamente com o respectivo cartão P. De tempos em tempos, o abastecedor do centro produtivo pega os primeiros cartões R do porta-cartões e vai aos estoques de saída dos centros que fornecem tais materiais. Nesse local, o cartão R assume o lugar do cartão P, o qual vai para o painel KP, e o contenedor, o material e o cartão R são transportados para o estoque de entrada do centro que vai consumir tal material.

Liker (2005) ressalta que: o verdadeiro desafio de implementar o *Kanban* é desenvolver uma organização capaz de descobrir modos de reduzir o número de *Kanbans*, tendo em vista que cada *Kanban* significa uma quantidade determinada de estoque, ou seja, perda. Reduzir o número de *Kanbans* significa reduzir estoque.

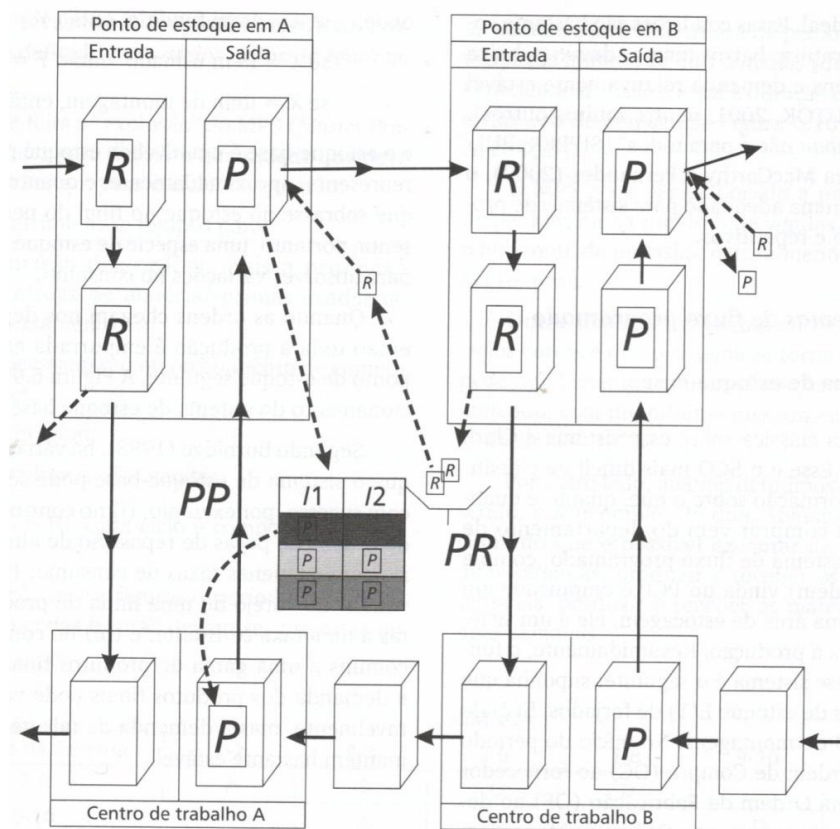


Figura 2 – Funcionamento do *Kanban* de duplo cartão

Fonte: Fernandes e Godinho Filho (2010).

2.2.2.5 Heijunka

Heijunka significa nivelar a produção de modo que o volume total de pedidos seja distribuído igualmente (mesma quantidade e combinação) por cada dia de trabalho durante um período (LIKER, 2005). Liker (2005) apresenta um exemplo para esclarecer o que é o nivelamento da produção. Em uma fábrica que produz três tipos de motores (pequeno,

médio e grande) uma maneira de atender a demanda semanal é produzir de forma desnivelada, por exemplo, todos os motores com maior demanda no início da semana, em seguida os de demanda intermediária e por fim os de menor demanda. O autor apresenta quatro problemas dessa produção desnivelada: (i) o cliente não compra produtos de modo previsível; (ii) há risco de não vender os produtos; (iii) o uso de recursos não é equilibrado; (iv) é colocada uma demanda desnivelada dos processos. Para enfrentar esses problemas o autor sugere uma programação nivelada executando o trabalho nesta sequência: médio, médio, pequeno, médio, médio, grande, pequeno. Desse modo, a fábrica alcança flexibilidade para atender o que e quando o cliente deseja, reduz o risco de não vender os produtos, utiliza de maneira balanceada os seus recursos e determina uma demanda uniformizada para os processos e para os fornecedores da planta.

2.2.2.6 Troca rápida de ferramentas (TRF)

É importante ressaltar a importância da redução do *setup* para implantar a produção nivelada. Entre os métodos para a redução do *setup*, Fernandes e Godinho Filho (2010) destacam a Troca Rápida de Ferramentas (TRF). De acordo com Shingo (1996) a TRF é a maneira mais eficaz de melhorar o *setup* obtendo reduções de até 95%.

Shingo (1996) explica que o *setup* pode ser dividido em dois tipos de operação:

- i. *Setup* interno: operações que só podem ser executadas com a máquina parada;
- ii. *Setup* externo: operações que podem, e devem ser concluídas enquanto a máquina está funcionando.

Shingo (1996) apresenta oito técnicas principais que compõem a TRF: separação das operações de *setup* internas e externas; converter *setup* interno em externo; padronizar a função, não a forma; utilizar grampos funcionais ou eliminar grampos; usar dispositivos intermediários; adotar operações paralelas; eliminar ajustes; mecanização.

A próxima seção apresenta os principais conceitos referentes à Teoria das Restrições.

2.3 TEORIA DAS RESTRIÇÕES

A Teoria das Restrições foi proposta primeiramente pelo Dr. Eliyahu Goldratt no livro A Meta (GOLDRATT, 1984). Essa abordagem tem como objetivo fazer dinheiro no

presente como também no futuro (GOLDRATT, 1984). A TOC enfatiza a importância do foco nas restrições, ou seja, fazer o que tem de ser feito (a meta) e onde deve ser feito (os gargalos). Para Goldratt (2010) focar em tudo é sinônimo de não focar em nada. É importante destacar que o termo gargalo começou a ser mal entendido e teve que ser substituído por restrição em 1987 (GOLDRATT, 2010). Recurso restrição de capacidade (RRC) significa qualquer recurso o qual precisa ter sua capacidade cuidadosamente gerenciada de forma a não comprometer o *throughput* da organização. Já recurso não restrição é aquele que possui capacidade superior a demanda colocada sobre ele (SULLIVAN, REID; CARTIER, 2007).

Goldratt (2010) explica que um grave erro é acreditar que os recursos não restritivos não são importantes, pois à medida que os recursos restritivos dependem deles, ignorar um recurso não restritivo pode ter um efeito negativo no recurso restritivo. A ideia comum de que “mais é melhor” só é verdade para os recursos restritivos e não é válida para os não restritivos. Para esses, esta ideia só é válida até um limite e acima dele “mais é pior”. Uma conhecida frase de Goldratt (2010, p.4) ilustra essa idéia: “Uma hora perdida no gargalo é uma hora perdida em todo o sistema; uma hora ganha em um recurso não gargalo é uma miragem”. Isso significa que uma hora perdida em um recurso gargalo é uma hora perdida para sempre, não pode ser recuperada. Já uma hora ganha em um recurso não gargalo, ou seja, um ganho local, não significa um ganho global; mais em recursos não gargalo não significa necessariamente melhor desempenho do sistema (GOLDRATT, 2010).

Para Fernandes e Godinho Filho (2010), tendo em vista que na estratégia da TOC a meta é conseguir aumentar os lucros da empresa, as medidas de desempenho financeiras são de extrema importância, apresentando as quatro utilizadas pela TOC: (i) lucro em rede (*net profit* = NP); (ii) retorno sobre o investimento (ROI); (iii) fluxo de caixa (FC); (iv) contribuição unitária do produto *i* (C_i). São necessárias também medidas de desempenho operacionais (CORREA; GIANESI, 1993; FERNANDES; GODINHO FILHO, 2010), a saber:

- i. Ganho (*throughput* = T): é a taxa (valor monetária por dia) na qual o sistema gera dinheiro para a empresa, ou seja, não representa a taxa de produção e sim a taxa de venda. Produtos feitos, mas não vendidos são classificados como estoques;
- ii. Estoque (E): representado pelo dinheiro investido na compra dos itens que estão nos estoques da empresa. A mão de obra e os trabalhos realizados nos produtos não são considerados;

- iii. Despesas operacionais (DO): É o dinheiro gasto para transformar estoque em taxa de saída. Aqui estão incluídos os trabalhos realizados, a mão de obra e outras despesas.

Fernandes e Godinho Filho (2010) explicam relações importantes entre essas medidas de desempenho que auxiliam o sistema de produção a focar nas atividades que realmente melhoram a meta da organização, que é a geração do lucro. Com esse propósito é importante compreender as relações, lucro em rede (NP), retorno sobre investimento (ROI) e contribuição unitária do produto, apresentadas respectivamente por meio das equações (2), (3) e (4).

$$NP = T - DO \quad (2)$$

$$ROI = (T - DO)/E \quad (3)$$

$$Ci = \text{Preço de venda unitário do produto } i - \text{Custo das matérias-primas para fabricar uma unidade do produto } i \quad (4)$$

As próximas seções apresentam um breve histórico da Teoria das Restrições, bem como seus princípios e principais elementos/ferramentas.

2.3.1 Histórico da Teoria das Restrições

No final dos anos 1970, o israelense Eliyahu Goldratt apresentou suas ideias a respeito da programação das operações, o que culminou no desenvolvimento o *software* OPT (FERNANDES; GODINHO FILHO, 2010). Goldratt percebeu que o seu *software* não era suficiente para fazer sua empresa crescer no ritmo que ele esperava e para divulgar ainda mais suas ideias lançou o livro A Meta (GOLDRATT, 1984). Aos poucos Goldratt abandonou o *software* OPT e focou em cinco passos de melhorias, explicados na seção 2.3.2. As suas ideias iniciais evoluíram de tal maneira que passaram a ser chamadas de Teoria das Restrições (GOLDRATT, 2006).

2.3.2 Princípios da Teoria das Restrições

Fernandes e Godinho Filho (2010) explicam que a ideia fundamental da TOC é aumentar o lucro por meio da exploração das restrições. Para isso é necessária a aplicação de um conjunto de princípios. Goldratt (1984) apresenta os princípios, a saber:

- i. **Balancear o fluxo e não a capacidade - dar ênfase:** A TOC é contra o balanceamento da capacidade e favorável ao balanceamento do fluxo de produção na fábrica (CORREA; GIANESI, 1993). A capacidade nunca pode ser totalmente balanceada, o fluxo que é importante, pois é ele que pode ser vendido (VOLLMAN; BERRY; WHYBARK, 1997);
- ii. **Utilização das não restrições é determinada pelas restrições:** Este princípio pode ser explicado de maneira simples. Em um sistema produtivo que produz um produto X, utilizando duas máquinas A e B. A demanda semanal é de 100 unidades. A capacidade de produção de A e B são respectivamente 100 e 200 unidades por semana. A restrição desse sistema é a máquina A e aplicando o princípio 2 da TOC, o recurso não restrição B deve processar somente 100 unidades por semana;
- iii. **Utilização e ativação de um recurso não são sinônimas:** Ativar um recurso não restrição de modo a produzir mais do que pode ser processado em um recurso restrição não adiciona nenhum valor para a empresa (BLACKSTONE JR, 2010). Correa e Giansesi (1993) explicam que como a ativação não implica na consecução dos objetivos da TOC, pois apesar de manter um fluxo constante, implica em um aumento dos estoques e das despesas operacionais e, por isso, não pode ser chamada de utilização (CORREA; GIANESI, 1993);
- iv. **Uma hora perdida em uma restrição é uma hora perdida em todo o sistema:** Uma hora perdida em um recurso gargalo é uma hora perdida para sempre, não pode ser recuperada (GOLDRATT, 2010);
- v. **Uma hora economizada em uma não restrição é uma miragem;**
- vi. **As restrições governam o volume de produção e o volume de estoques em processo:** Isso é um corolário dos princípios anteriores;
- vii. **O lote de transferência pode ser, e em muitas vezes deve ser, diferente do lote de processamento:** de acordo com Blackstone Jr. (2010), o fato do lote de transferência ser menor do que o lote de processamento possibilita que diversas estações trabalhem em um produto simultaneamente. Isso implica em uma diminuição do *lead*

- time* e, conseqüentemente, pode ser usado como uma arma competitiva;
- viii. **Os lotes de processamento devem ser variáveis e não fixos:** Por motivos similares ao princípio anterior;
 - ix. **A lei de Murphy:** Se algo de errado puder ocorrer, certamente vai ocorrer. Essa lei é conhecida e seus efeitos podem ser minimizados usando-se capacidade e estoques de segurança em pontos estratégicos;
 - x. **A soma dos ótimos locais no geral não é igual ao ótimo global:** Uma hora ganha em um recurso não gargalo, ou seja, um ganho local, não significa um ganho global; “mais” em recursos não gargalo não significa necessariamente melhor desempenho do sistema.

Fernandes e Godinho Filho (2010) acrescentam ainda o princípio 11, que é na realidade a sistemática TOC, com seus 5 passos, para melhoria contínua. Essa sistemática, de acordo com Goldratt (2006) consiste em:

- i. **Identificar a restrição do sistema:** A empresa define seu tambor (*drum*) (BLACKSTONE JR., 2010). Para isso Fernandes e Godinho Filho (2010) explicam que é necessário verificar a carga de trabalho em cada estação produtiva, ou seja, a utilização;
- ii. **Decidir como explorar a restrição do sistema:** Nesse passo a companhia precisa decidir como vai desenvolver o pulmão (*buffer*) (BLACKSTONE JR., 2010). Uma vez identificada a restrição, ela deve ser aproveitada ao máximo de forma a contribuir para a obtenção de lucro para a empresa (FERNANDES; GODINHO FILHO, 2010). Um erro nesse passo é não considerar os recursos não restrição, pois em uma corrente as ligações não são menos importantes do que os elos. Para explorar as restrições é necessário administrar as não restrições em sincronia (GOLDRATT, 2006);
- iii. **Subordinar tudo mais à decisão anterior:** A corda (*rope*) é amarrada entre o pulmão e a liberação de materiais de forma a manter um tamanho de pulmão constante (BLACKSTONE JR., 2010). Todas as decisões (por exemplo, compra de matérias-primas, programação de operações, entre outras) devem ser feitas em função da decisão tomada

no passo 2 (FERNANDES; GODINHO FILHO, 2010). De acordo com Goldratt (2006) é nesse passo que acontece o conflito entre o mundo dos custos (abordagem tradicional) e o mundo dos ganhos (TOC), pois os gerentes não se sentem felizes ao saber que seus recursos (não restrições) podem ter uma eficiência de 50%, por exemplo;

- iv. **Elevar a restrição do sistema:** Goldratt (2006) orienta que é possível passar para as não restrições algumas tarefas executadas nas restrições, (mesmo que isso seja menos eficiente), terceirizar ou até mesmo adquirir mais capacidade. Fernandes e Godinho Filho (2010) ainda acrescentam que outras medidas podem contribuir para melhorar o desempenho da restrição, entre elas: redução do tempo de *setup*, manutenção preventiva, redução do número de paradas etc.;
- v. **Se em um passo anterior a restrição for quebrada, é necessário voltar ao passo 1, sem deixar que a inércia se torne a restrição do sistema.**

2.3.3 OPT

O sistema OPT (*Optimized Production Technology*) é um sistema informatizado de controle da produção cujo criador é Eliyahu Goldratt (FERNANDES; GODINHO FILHO, 2010). Sipper e Bulfin (1997) afirmam que o OPT é o programador de gargalo da Teoria das Restrições. O OPT é composto por dois elementos fundamentais: os princípios do OPT (sua filosofia) e um *software* (CORREA; GIANESI, 1993; VOLLMAN; BERRY; WHYBARK, 1997). Correa e Gianesi (1993) explicam que para o OPT o objetivo básico das empresas é ganhar dinheiro.

Fernandes e Godinho Filho (2010) explicam que o *software* OPT é composto por quatro módulos:

- i. Módulo de construção de rede (*BUILDNET*);
- ii. Módulo servidor (*SERVE*);
- iii. Módulo de separação (*SPLIT*);
- iv. Módulo OPT.

O fluxograma básico de funcionamento do sistema OPT é apresentado na Figura 3. De acordo com Fernandes e Godinho Filho (2010) o módulo BUILDNET combina todos os dados de entrada necessários e os armazena numa rede de informações para cada

produto final. Entre os principais dados de entrada os autores destacam as listas de materiais, os roteiros de fabricação com os respectivos tempos de processamento e de preparação e *status* dos estoques.

Em seguida o módulo SERVE identifica quais são os recursos gargalo utilizando uma lógica similar ao MRP (*Materials Requirements Planning*), ou seja, assumindo capacidade infinita para os recursos (VOLLMAN; BERRY; WHYBARK, 1997). O SERVE converte necessidades em termos de produtos finais para necessidades em termos de componentes (FERNANDES; GODINHO FILHO, 2010).

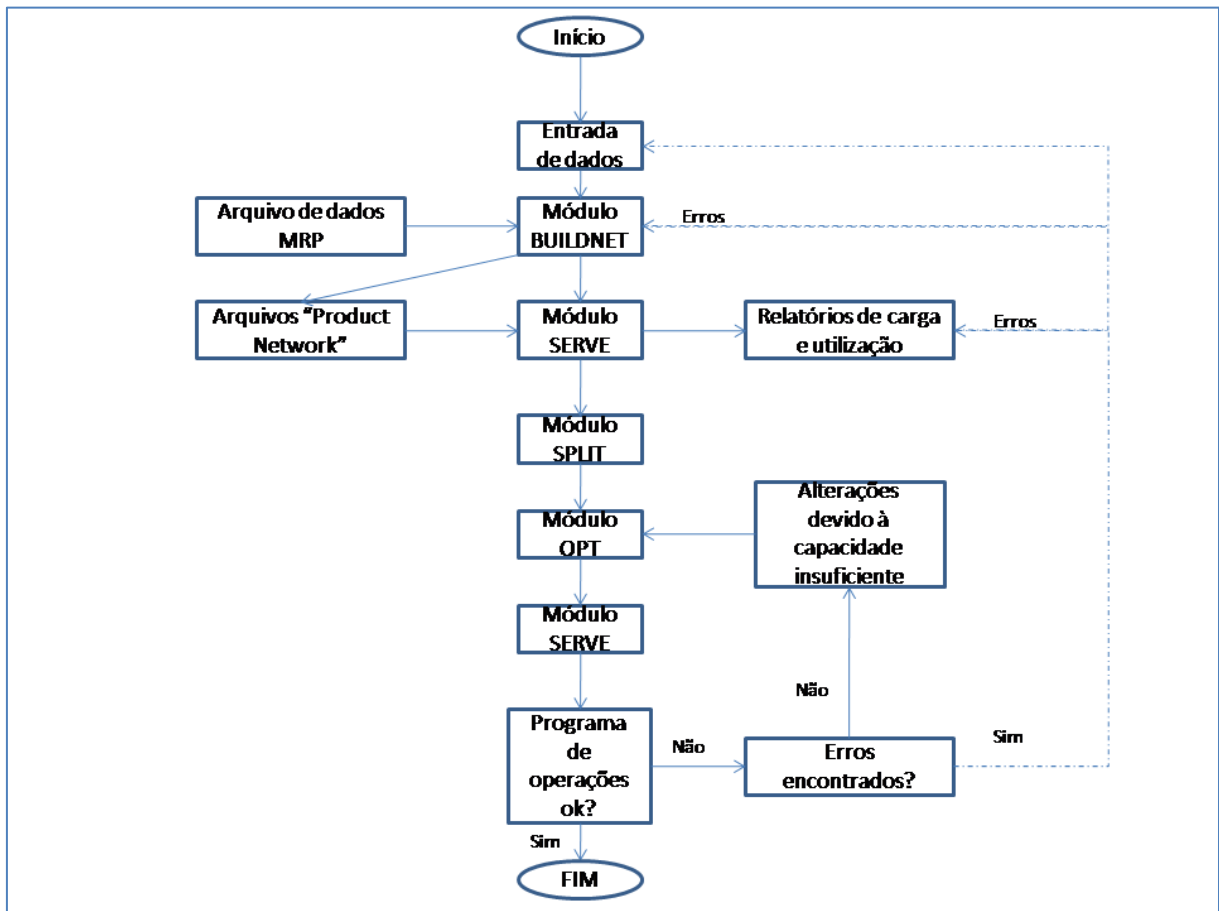


Figura 3 Fluxograma de funcionamento do OPT

Fonte: Adaptado de Meleton (1986).

Com base nos cálculos de capacidade realizados pelo SERVE, o módulo SPLIT separa os recursos gargalos dos não gargalos (FERNANDES; GODINHO FILHO, 2010). Os recursos não gargalos são programados utilizando a lógica MRP. As operações processadas nos recursos gargalos são programadas pelo módulo OPT de acordo com o algoritmo secreto de Goldratt (VOLLMAN; BERRY; WHYBARK, 1997; FERNANDES; GODINHO FILHO, 2010).

Vollman, Berry e Whybark (1997) identificam três importantes contribuições do OPT. A primeira é o programa mestre de produção executável resultante do carregamento finito de trabalho aos recursos gargalos. A segunda contribuição é a maneira como o OPT programa a produção nos recursos não gargalos, sendo a maneira mais simples de visualizar isso, assumir que não existem gargalos. Nesse caso, o OPT reduz os tamanhos dos lotes até o ponto onde alguns recursos quase se tornem gargalos. Isso resulta em menos estoque em processo (WIP), *lead time* reduzido, maior velocidade de fluxo de materiais e um movimento em direção ao estoque zero. Por fim, a terceira contribuição do OPT é virtualmente eliminar o conflito de prioridades entre o MRP e o carregamento finito, pois ao considerar o carregamento finito apenas para uma pequena parte da empresa, as questões prioritárias de conflito devem praticamente desaparecer.

Vale a pena ressaltar que o próprio Goldratt “abandona” seu *software* OPT quando percebe que era mais efetivo para as empresas seguirem os cinco passos da TOC ao invés de implantar o software OPT propriamente dito. Isso pode visto com mais detalhes no livro do “A Meta na prática” (GOLDRATT, 2006) no qual o autor afirma que o foco de trabalho passa a ser nos cinco princípios da TOC.

2.3.4 DBR (*Drum-buffer-rope*)

Joldbauer e Huber (2008) explicam que o DBR é a abordagem operacional de planejamento e controle da produção da TOC. Sullivan, Reid e Cartier (2007) definem o DBR como sendo o método da TOC para programação e gerenciamento das operações. DBR é o mecanismo de programação e controle utilizado para implementar a Teoria das Restrições nas empresas e é baseado na ideia de que a estação mais lenta (*drum* - tambor) dita o ritmo das demais. O “pulmão” é material ou tempo a montante do “tambor” possibilitando que o mesmo nunca fique sem trabalho. A “corda” é um mecanismo que sinaliza para o pulmão que material está sendo puxado pelo tambor (BLACKSTONE JR., 2010).

A ideia básica do DBR é mover os materiais tão rápido quanto possível dos recursos não gargalos para os gargalos. Nos últimos, o trabalho é programado para obter máxima eficiência (grandes lotes) e em seguida, o material flui rapidamente para o fim do processo. Isso significa que os lotes de processamento no gargalo são grandes, mas os lotes de transferência que chegam e saem do gargalo são pequenos (VOLLMAN; BERRY; WHYBARK, 1997).

Para deixar o DBR ainda mais claro, Goldratt (2006) faz uma analogia entre uma tropa de soldados em marcha e o fluxo de materiais de produção, apresentada na Figura 4.

A primeira fileira de soldados pisa em um caminho novo, processando as matérias primas. Cada fileira de soldados continua o processo do material até a última fileira que libera os produtos acabados (o trecho de caminho pelo qual a tropa inteira passou marchando). A distância entre a primeira fileira de soldados e a última é o estoque em processo (GOLDRATT, 2006).

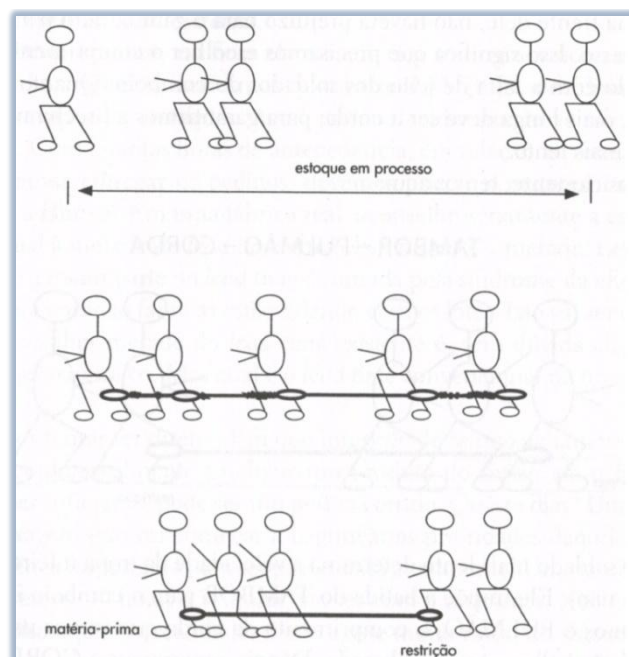


Figura 4 Analogia com a tropa de soldados

Fonte: Adaptado de Goldratt (2006).

Nessa analogia é possível ver com clareza que à medida que a tropa se movimenta, os soldados se dispersam e o oficial precisa parar a tropa e realinhá-los. Quando o exército se espalha, significa que o estoque em processo aumentou muito e a ação de parar a tropa representa perda de ganho. O DBR ajuda exatamente a controlar essa tropa marchando. Ao amarrar a primeira fileira de soldados no soldado mais lento (restrição), os outros são forçados a caminhar no ritmo desse mais lento. Como na média, a primeira fileira de soldados é mais rápida do que o soldado mais lento, a corda geralmente vai ficar apertada, não permitindo que os soldados da primeira fileira se dispersem. Como os soldados atrás do mais lento são mais rápidos, não há necessidade de outra corda, pois eles permanecerão próximos do mais lento. A vantagem disso é que quando, por algum motivo um soldado após o mais

lento interromper sua caminhada, por exemplo, derrubando sua arma, ele só precisa acelerar o passo depois, aumentando apenas temporariamente o estoque em processo. Caso um dos soldados a frente do mais lento pare por algum motivo, não haverá nenhum prejuízo para o ganho, nem para o estoque em processo desde que ele não feche a brecha na frente dele. O soldado mais lento determina a velocidade da tropa inteira, impondo a batida do tambor para o comboio inteiro. Nós escolhemos o PULMÃO, ou seja, o comprimento da corda que vamos usar (a quantidade de trabalho que será liberada). Depois amarramos a corda, delimitamos a liberação de material para as operações de entrada, que é a primeira fileira, para seguirem o ritmo das restrições (GOLDRATT, 2006). A Figura 5 ilustra o funcionamento do DBR.

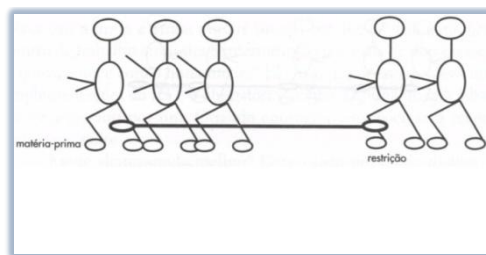


Figura 5 Tambor – pulmão – corda

Fonte: Adaptado de Goldratt (2006).

2.4 Trabalhos com o foco próximo a questão da melhor alocação de programas de melhoria

Não foi encontrada na literatura uma discussão a respeito de qual a melhor alocação de programas de melhoria, entretanto alguns autores parecem chegar próximos a essa questão.

Kadiapasaoglu et al. (2000) estudaram a fundo o efeito do nível e localização da capacidade protetiva relativa ao recurso restrição, por meio de uma simulação em um ambiente *flow shop* com 4 estações de trabalho. Foram utilizadas como medidas de desempenho o tempo de fluxo, WIP e o tempo de espera. Os resultados mostraram que a presença de capacidade protetiva e do recurso restrição próximo ao começo do processo produtivo melhora o desempenho do sistema, pois minimiza os efeitos adversos da variabilidade do sistema e de paradas. Além disso, os resultados mostraram que os benefícios da localização do RRC e da alocação de capacidade protetiva são dependentes do nível de variabilidade do sistema.

Caridi et al. (2006) investigaram a questão do nível de capacidade protetiva requerida e sua localização ao longo da linha, por meio de uma simulação em um ambiente

flow shop com 4 estações de trabalho. Os resultados mostraram que uma linha balanceada é eficaz quando o nível de incerteza for baixo. Já quando a disponibilidade é baixa, a linha balanceada não foi capaz de lidar com os atrasos gerados ao longo da linha e os autores sugeriram posicionar o RRC no final da linha. No entanto, à medida que o nível de variabilidade do sistema aumenta, a melhor estratégia foi colocar o RRC no início da linha.

Betterton e Cox (2008) revisaram diversos aspectos do DBR e criticaram o trabalho de Kadiapasaoglu et al. (2000), por considerar que o modelo simulado nesse artigo foi na verdade um modelo puxado e não um DBR. Devido a isso, os autores contestaram as constatações de Kadiapasaoglu et al. (2000) realizando uma simulação em um ambiente *flow-shop* com quatro estações de trabalho. Os resultados apontaram que não existe uma diferença significativa no desempenho do processo de acordo com a localização do RRC.

Alguns autores discutem a respeito da maneira de alocação de capacidade protetiva. Entre esses autores, Davis (1966) e Payne, Slack e Wild (1972), que defendem a forma não balanceada, ou seja, a capacidade protetiva dos recursos não RRC deve ser diferente para cada recurso. Por outro lado, há aqueles autores como Smunt e Perkins (1985, 1989) e Thomson e Burford (1988) que não acreditam que as linhas desbalanceadas superem as linhas balanceadas, que são aquelas que possuem capacidade protetiva igual para cada recurso não RRC. Por fim, há aqueles que defendem o chamado efeito boliche (HILLIER; BOLLING'S, 1966); HILLIER; SO, 1996), que consiste em colocar mais capacidade protetiva nas extremidades da linha. Craighead, Patterson e Fredendall (2001) investigam o posicionamento da capacidade protetiva ao longo da linha por meio de uma simulação em um ambiente *flow shop* com 5 estações de trabalho. Os resultados mostraram que praticamente não foi encontrada influência no tempo de fluxo de acordo com o posicionamento da capacidade protetiva, entretanto a mesma afeta significativamente a tendência do gargalo mudar de posição. Além disso, os autores sugeriram que em situações em que uma estação de trabalho possua alta utilização, o posicionamento de capacidade protetiva imediatamente antes e depois do gargalo reduz significativamente a tendência de mudança de posição do mesmo.

Outros trabalhos, como os de Hein (1999) e Ferguson (2002) incorporaram a análise focada da TOC na Manufatura Enxuta de modo a fazer com que os a eficácia dos esforços de melhoria aumentasse.

Apesar de haver na literatura que chegam próximos à questão da melhor forma e local de realização de melhoria, não foi encontrada na literatura estudos que ajudem os gerentes de produção a decidirem efetivamente qual a melhor maneira de realizar melhorias

em variáveis do chão de fábrica de acordo com as características das linhas produtivas gerenciadas pelos mesmos.

2.5 O modelo híbrido *System Dynamics-Factory Physics*

O presente trabalho utilizou como base o modelo original desenvolvido por Godinho Filho e Uzsoy (2009) e a expansão realizada por Guimarães (2010). Os tempos de chegadas de tarefas às estações de trabalho e os tempos de processamento são gerais, e cada uma das estações de trabalho é constituída de apenas 1 máquina (um único servidor), logo, o sistema modelado é representado por filas do tipo *G/G/1*. A Figura 6 mostra o esquema do modelo desenvolvido utilizado nesse trabalho.

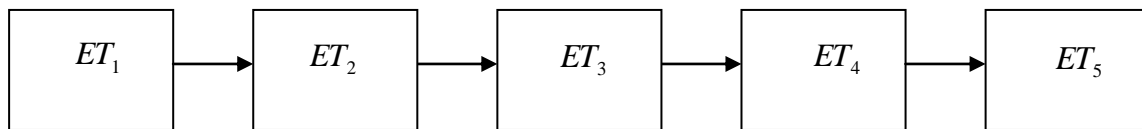


Figura 6: Ilustração esquemática do modelo utilizado neste trabalho.

Fonte: Guimarães (2010)

A Figura 7 mostra a parte principal do modelo desenvolvido por Godinho Filho e Uzsoy (2009) com todos os relacionamentos entre os diversos parâmetros do chão de fábrica descritos anteriormente. Todas as fórmulas são explicadas no decorrer deste capítulo.

A Figura 8 mostra uma parte do modelo, com as estações de trabalho 1 e 2 e todas as variáveis que compõem o relacionamento entre essas duas estações. Essa estrutura mostrada na figura 8 se repete para a terceira, quarta e quinta estação de trabalho. O modelo não é apresentado na sua forma integral devido ao tamanho do mesmo.

A taxa média de chegadas de ordens à estação, considerando que o sistema está em equilíbrio, deve ser igual à demanda média para evitar a acumulação de tarefas na fila. Logo a taxa de chegadas, r_a , pode ser representada pela expressão 5:

$$r_a = \frac{D}{LH} \tag{5}$$

Onde :

D : é a demanda média anual (Considerada de 11520 peças nesse trabalho);

L : é o tamanho de lote de processamento e transferência sendo ambos iguais e com o tamanho de 200 peças;

H : é o número de horas trabalhadas no ano (1920 horas).

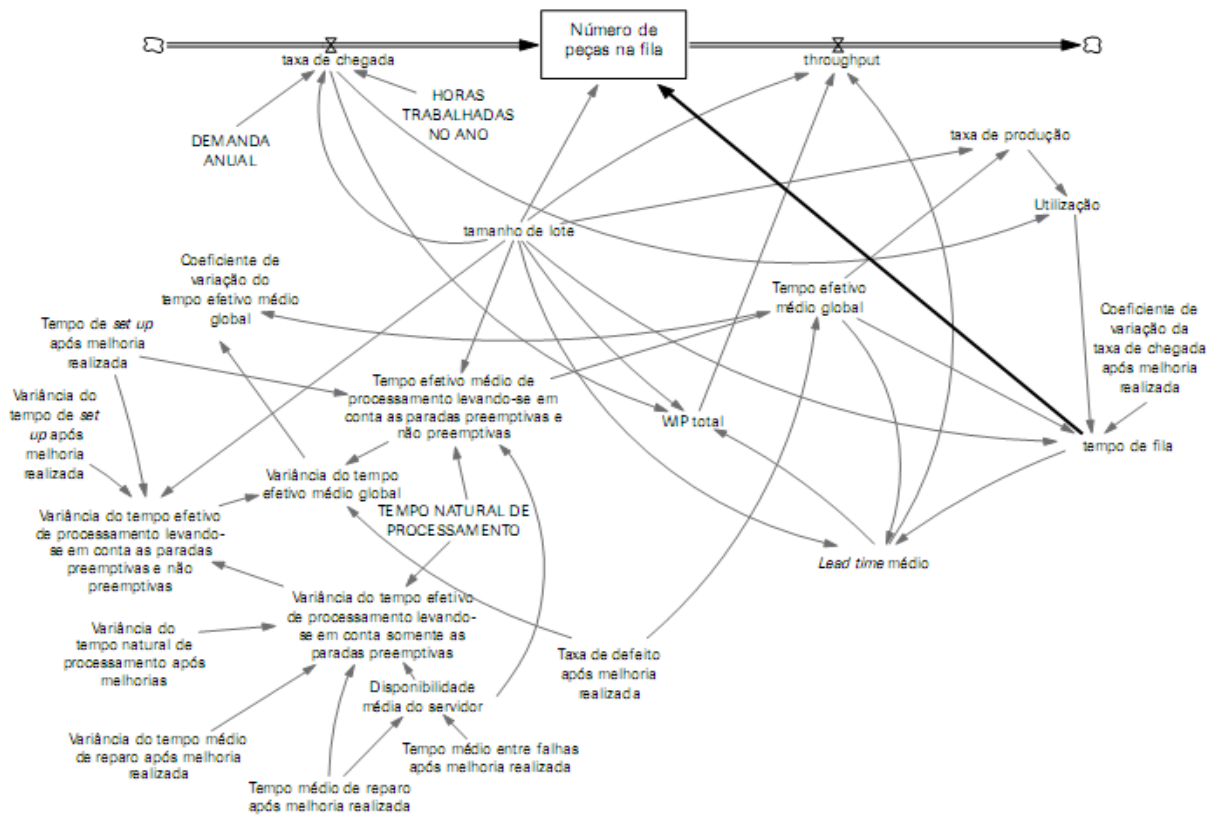


Figura 7: Parte principal do modelo utilizado neste trabalho.

Fonte: GUIMARÃES (2010)

As tarefas chegam a estação de trabalho (i) a uma taxa r_a determinada pela demanda anual média e representada pela fórmula 5. A estação de trabalho (i) apresenta uma taxa de partida das tarefas, r_d , para a estação seguinte ($i+1$). Essa taxa de partidas da estação (i) é igual ao *throughput* (TH) da estação i .

O coeficiente de variação de partidas, c_d , da estação i é representada pela fórmula 6:

$$c_d = \sqrt{u^2 c_e^2 + (1-u^2)c_a^2} \quad (6)$$

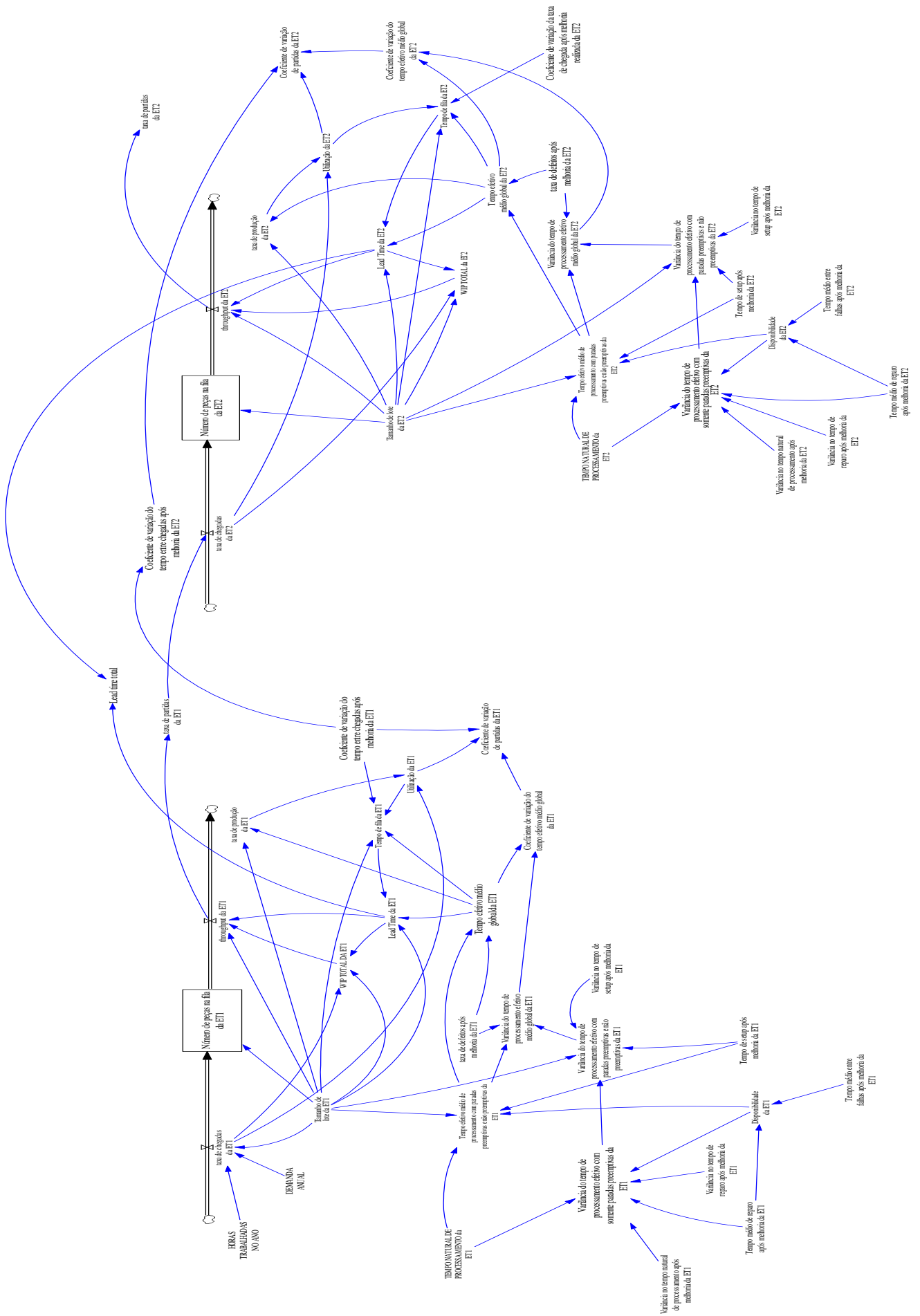


FIGURA 8: Parte principal do modelo utilizado no presente trabalho, mostrando a interação entre duas estações adjacentes

Em que:

u é utilização da estação;

c_e é o coeficiente de variação do tempo de processamento efetivo global da estação (i);

c_a é o coeficiente de variação do tempo entre chegadas da estação (i).

Para a estação de trabalho ($i+1$), a taxa de chegadas deve ser igual à taxa com que as tarefas partem da estação anterior (i), isto é representado pela expressão 7:

$$r_a(i+1) = r_d(i). \quad (7)$$

Do mesmo modo, o coeficiente de variação de chegada das tarefas estação ($i+1$) deve ser igual ao coeficiente de variação de partidas da estação (i), portanto de acordo com a expressão 8:

$$c_a(i+1) = c_d(i) \quad (8)$$

A taxa de produção da estação de trabalho, r_e , é dada, segundo Hopp e Spearman (2008), pela equação 9:

$$r_e = \frac{1}{L \times t_e} \quad (9)$$

Em que:

L é o tamanho de lote;

t_e é o tempo de processamento efetivo global.

O tempo de processamento efetivo global, t_e , é construído a partir do tempo natural de processamento por meio da adição de três efeitos (GODINHO FILHO; UZSOY, 2009):

- a) efeito de paradas preemptivas (neste caso, falhas de máquinas);
- b) efeito de paradas não preemptivas (nesse caso, tempos de *setup*);
- c) efeito de problemas de qualidade (taxa de defeitos).

O tempo natural de processamento, c_0 , tem seu valor determinado como 6 minutos e a variância associada a esse tempo, σ_0^2 , é de 36 minutos. Logo o coeficiente de variação do tempo natural de processamento, o qual é dado pela fórmula 10 tem valor 1:

$$c_0 = \frac{\sqrt{\sigma_0^2}}{t_0} \quad (10)$$

Em que:

t_0 é o tempo natural de processamento;

σ_0^2 é a variância do tempo natural de processamento.

O tempo de processamento efetivo considerando além do tempo natural de processamento, o efeito dessas paradas preemptivas (falhas de máquinas) é denotado por t_e^f , e pode ser representado pela expressão 11:

$$t_e^f = \frac{t_0}{A} \quad (11)$$

Em que:

A é a disponibilidade da máquina;

A variância e o coeficiente de variação de t_e^f são respectivamente (expressões

12 e 13):

$$(\sigma_e^f)^2 = \left(\frac{\sigma_0}{A}\right)^2 + \frac{(m_r^2 + \sigma_r^2)(1-A)t_0}{Am_r} \quad (12)$$

$$(c_e^f) = \sqrt{c_0^2 + (1 + c_r^2)A(1-A)\frac{m_r}{t_0}} \quad (13)$$

Em que:

σ_r^2 é a variância no tempo de reparo (Considerado como 280400 minutos);

m_r é tempo médio de reparo (Considerado como 480 minutos ou 1 dia);

c_r é o coeficiente de variação do tempo de reparo (Considerado como 1).

A disponibilidade da estação de trabalho, denotada por A , e utilizada nas equações 5.3 a 5.5, é representada por:

$$A = \frac{mf}{mf + mr} \quad (14)$$

Em que:

mf é o tempo médio entre falhas (Considerado como 9600 minutos ou 20 dias)

O tempo de processamento efetivo incorporando, além do o tempo natural de processamento, o efeito de paradas preemptivas e de paradas não preemptivas, é denotado agora por t_e^o e pode ser presentado pela expressão 15:

$$t_e^o = t_e^f + \frac{t_s}{N_s} \quad (15)$$

Em que:

t_s é o tempo médio de duração dos *setups* (Considerado como 180 minutos ou 3 horas);

N_s é o número médio de peças processadas entre *setups* (Considerado como 200 - igual ao tamanho de um lote);

A variância de t_e^o é dado pela expressão 16:

$$(\sigma_e^o)^2 = (\sigma_e^f)^2 + \frac{\sigma_s^2}{N_s} + \frac{N_s - 1}{N_s^2} t_s^2 \quad (16)$$

Em que:

σ_s^2 é a variância do tempo de *setup* (Considerada como 32400 minutos)

E o coeficiente de variação, c_e^o , é dado pela expressão 17:

$$c_e^o = \sqrt{\frac{(\sigma_e^o)^2}{(t_e^o)^2}} \quad (17)$$

O último componente do tempo de processamento efetivo são os problemas de qualidade, nesse caso representado pelo efeito de itens defeituosos. Logo, o tempo de processamento efetivo considerando o tempo natural, o efeito de paradas preemptivas, não preemptivas e de problemas de qualidade é denotado pela expressão 18:

$$t_e = \frac{\frac{t_0}{A} + \frac{t_s}{N_s}}{1 - p}, \quad (18)$$

Em que:

p é a taxa de itens defeituosos (Considerado como 5%)

A variância para o tempo médio de processamento efetivo é dado por (expressão 19):

$$\sigma_e^2 = \frac{(\sigma_e^o)^2}{1 - p} + \frac{p(t_e^o)^2}{(1 - p)^2} \quad (19)$$

E o coeficiente de variação, c_e , é representado por (expressão 20):

$$c_e = \sqrt{\left(\frac{\sigma_e}{t_e}\right)^2}. \quad (20)$$

A utilização da estação de trabalho considerada no modelo é formulada a partir da equação *Factory Physics* (HOPP; SPEARMAN, 2008):

$$u = \frac{r_a}{r_e} \quad (21)$$

Em que:

r_a é a taxa de chegadas de ordens na estação;

r_e É a taxa de produção efetiva da estação.

Logo a utilização da estação considerada pode ser representada por (expressão 22):

$$u = \frac{D}{LH} \times Lt_e = \frac{Dt_e}{H} \quad (22)$$

Outra medida de desempenho de grande importância no estudo dos ambientes de manufatura e que se encontra representado no modelo desenvolvido por Godinho Filho e Uzsoy (2009) é o *lead time* médio, TC :

$$TC = TC_f + t_e \quad (23)$$

Em que:

TC_f é o tempo médio de fila

Considerando-se que o tempo médio de fila, TC_f , para um sistema do tipo G/G/1 pode ser representado por meio da equação de Kingman (eq. 24):

$$TC_f (G/G/1) = \left(\frac{c_a^2 + c_e^2}{2}\right) \left(\frac{u}{1-u}\right) t_e \quad (24)$$

E que o tempo médio de processamento de um lote de tamanho L é dado por, Lt_e , o *lead time* médio da estação de trabalho em estudo pode ser calculado por (eq.25):

$$TC = \left(\frac{c_a^2 + c_e^2}{2}\right) \left(\frac{u}{1-u}\right) Lt_e + Lt_e \quad (25)$$

Outra medida de desempenho avaliada no modelo é o WIP, dada pela lei de *Little*. Assumindo-se que o *throughput*, TH , é igual a taxa de chegadas de tarefas em uma estação de trabalho, r_a , o WIP também pode ser representado por (expressão 26):

$$WIP = r_a \times TC \times L \quad (26)$$

Em que:

TC é o *lead time* médio da estação

Outra variável de fundamental importância no modelo proposto neste trabalho é o *lead time* total do fluxo produtivo da linha. Essa variável representa o *lead time* de todas as estações presentes no modelo. Segundo Hopp e Spearman (2008), o *lead time* total de uma linha é igual à soma dos *lead times* das estações individuais menos as sobreposições de 2 ou mais estações. Nesse trabalho supõem-se que não há sobreposição de nenhuma das estações, logo o *lead time* total da linha produtiva é dada pela soma dos *lead times* individuais de cada estação (expressão 27):

$$TC_{total} = TC_{ET_1} + TC_{ET_2} + \dots + TC_{ET_N} \quad (27)$$

Onde:

N é o número de estações de trabalho presente na linha de produção.

O modelo também estuda o efeito de ações de melhoria contínua em seis variáveis do chão de fábrica:

- 1) Tempo médio de *setup*;
- 2) Tempo médio entre duas falhas consecutivas;
- 3) Tempo médio de reparo;
- 4) Taxa média de defeitos;
- 5) Variabilidade do tempo entre chegadas;
- 6) Variabilidade do tempo de processamento efetivo global (a qual os autores consideram como resultado da variabilidade do tempo médio de *setup*, variabilidade do tempo médio de reparo e variabilidade do tempo natural de processamento).

É importante deixar claro que quando se fala em alteração na variabilidade de alguma das variáveis do modelo, os autores fazem referência à alteração no coeficiente de variação dessa variável, ou seja, o termo utilizado para representar a variabilidade nesse modelo é o coeficiente de variação.

Para analisar o efeito dessas ações de melhoria contínua é necessário um mecanismo que modele a melhoria contínua. Na literatura, grande parte dos trabalhos utiliza a distribuição exponencial para modelar o processo de melhoria (por exemplo, HWANG et al, 1993; BILLINGTON, 2003). Diante disso, Godinho Filho e Uzsoy (2009) utilizaram um

modelo de melhoria exponencial. Essa melhoria exponencial pode ser representada de acordo com a expressão 28:

$$A(t) = (A_0 - G)e^{t/\tau} \quad (28)$$

Onde:

$A(t)$ é o valor do parâmetro que está sob ação da melhoria contínua em um dado tempo;

A_0 é o valor inicial do parâmetro;

G é o nível mínimo que o parâmetro pode ser reduzido;

τ é o tempo de ajuste (Dado como 1.43 anos ou 2743 horas). O tempo de ajuste é o tempo que demora até a melhoria acontecer, ou seja, até o *gap* ($A_0 - G$) ser corrigido.

Segundo Sterman (2000), o valor do parâmetro τ é estabelecido baseando-se em uma regra simples (chamada regra dos 70): 70% do valor do parâmetro τ é igual à meia-vida do *gap*. Por exemplo, caso tenha-se um *gap* de 200 unidades e deseja-se que no instante 14 semanas esse *gap* seja reduzido a 50% (100 unidades), deve-se estabelecer o valor de τ como sendo igual a 20 semanas (70% de 20 semanas igual a meia-vida do decaimento exponencial).

A Figura 9 mostra como foi modelada a estrutura de melhoria contínua para o tempo médio de *setup*.

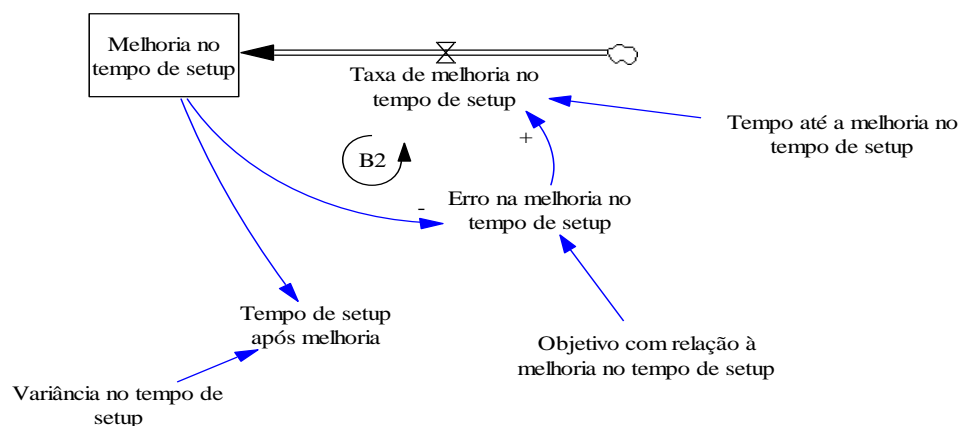


FIGURA 9 Estrutura de melhoria para o tempo médio de *setup*.

Fonte: Godinho filho E Uzsoy (2009)

O erro na melhoria no tempo de *setup* é dado pela diferença entre a melhoria e o objetivo com relação à melhoria no tempo de *setup*. E a taxa de melhoria é dada pelo

quociente entre o erro na melhoria e o tempo até que a melhoria no tempo de *setup* seja percebida no sistema.

Como pode ser visto, a estrutura de melhoria contínua mostrada na Figura 9 é ligada na variável tempo de *setup* após melhoria. Essa realimentação entre a estrutura de melhoria contínua e a variável a qual ela influencia (nesse caso o tempo de *setup*) caracteriza a estrutura de *feedback* típica de um modelo SD. É por meio desse *feedback* entre a estrutura de melhoria contínua e o restante do sistema que é possível visualizar os efeitos da melhoria contínua no ambiente de manufatura modelado.

Outras sete estruturas similares à mostrada na Figura 9, contendo *feedbacks* negativos, são utilizadas no modelo para modelar as melhorias contínuas nas seguintes variáveis: variabilidade da taxa de chegada das ordens no sistema, variabilidade natural do processo, variabilidade do tempo de reparo das máquinas, variabilidade do tempo de *setup*, taxa média de defeitos do processo, tempo médio entre falhas de máquina e tempo médio de reparo da máquina. Estas estruturas são ligadas, respectivamente, às seguintes variáveis mostradas na Figura 7: coeficiente de variação da taxa de chegada após melhoria realizada, variância do tempo natural de processamento após melhoria realizada, variância do tempo médio de reparo após melhoria realizada, variância do tempo médio de *setup* após melhoria realizada, taxa média de defeitos após melhoria realizada, tempo médio entre falhas após melhoria realizada e tempo médio de reparo após melhoria realizada.

Portanto, a junção da parte principal do modelo representada pela Figura 7 e das oito estruturas de melhoria contínua (exemplificada pela Figura 9) formam o modelo desenvolvido por Godinho Filho e Uzsoy (2009).

De acordo Godinho Filho e Uzsoy (2009), em cada período, os novos valores dos parâmetros são calculados baseados nas melhorias implementadas no período anterior e as equações da *Factory Physics* são usadas para propagar os efeitos das melhorias nas medidas de desempenho de interesse para o sistema. Isso acontece por meio dos *feedbacks* entre as estruturas de melhorias e os parâmetros em questão.

Segundo os autores, o modelo desenvolvido também assume um comportamento determinístico das variáveis, seguindo a sugestão de Sterman (2000), o qual cita que uma abordagem determinística é suficiente para capturar as principais relações de interesse em um estudo de SD. Ainda de acordo com os autores, apesar dessa suposição, os efeitos da aleatoriedade no sistema são capturados pelas variâncias dos parâmetros considerados, os quais estão incluídos nas equações da teoria *Factory Physics*.

Alguns dos parâmetros utilizados no modelo proposto por Godinho Filho e Uzsoy (2009) são determinados *a priori*, os principais são apresentados na Tabela 1.

TABELA 1 – Parâmetros utilizados no presente trabalho

Parâmetros	Valores
Demanda média	11520 peças/ano
Tempo trabalhado	1920 horas/ano
Tempo médio entre falhas	4800 minutos
Tempo médio de reparo	960 minutos
Tempo médio de <i>setup</i>	45 minutos
Taxa média de defeitos	10%
Tempo natural de processamento	6 minutos
Coefficiente de variação do tempo de <i>setup</i>	1 (Variabilidade moderada)
Coefficiente de variação do tempo de reparo	1 (Variabilidade moderada)
Coefficiente de variação do tempo natural de processamento	1 (Variabilidade moderada)
Coefficiente de variação de chegadas	1 (Variabilidade moderada)

Todos os parâmetros e variáveis presentes no modelo com uma estação de trabalho desenvolvido por Godinho Filho e Uzsoy (2009), encontram-se presentes em todas as estações consideradas no modelo expandido. A única exceção é a demanda anual e o número de horas anuais trabalhadas, presentes apenas na primeira estação de trabalho, pois servem para determinar a taxa de chegadas apenas dessa primeira estação, sendo que a taxa de chegada das demais estações é determinada pela taxa de saída da estação anterior, como foi explicado anteriormente.

As oito estruturas de melhoria contínuas presentes no modelo de máquina única desenvolvido por Godinho Filho e Uzsoy (2009), também estão presentes em cada uma das cinco estações do modelo utilizado neste trabalho.

2.6 Considerações finais

O presente capítulo teve como objetivo apresentar o referencial teórico básico, discutindo as ferramentas e técnicas mais importantes de cada abordagem.

O ponto mais importante a ser destacado é a respeito das políticas de melhoria de cada abordagem. Nota-se que diversas técnicas e ferramentas da Manufatura Enxuta sugerem a realização de melhorias em vários pontos simultaneamente, como explica Ohno (1997, p. 38):

Ao pensar sobre a eliminação total do desperdício, tenha em mente os seguintes pontos: (i) o aumento da eficiência só tem sentido quando implica em redução de custos; (ii) deve-se observar a eficiência de cada operador e de cada linha; em seguida ele recomenda observar os operadores como um grupo e, finalmente, a eficiência de toda a fábrica. A eficiência deve então ser melhorada em cada estágio e, ao mesmo tempo, ao longo de toda a fábrica.

Já a Teoria das Restrições tem com premissa que o foco deve ser o recurso restrição e, conseqüentemente, as melhorias devem ser realizadas de maneira concentrada neste recurso, ou seja, a TOC enfatiza a importância do foco nas restrições, ou seja, fazer o que tem de ser feito (a meta) e onde deve ser feito (os gargalos). Para Goldratt (2010) focar em tudo é sinônimo de não focar em nada.

Sale e Inman (2003) explicam que tanto o JIT quanto a TOC tem ênfase na melhoria contínua e redução de estoques, porém a TOC subordina todas as atividades a restrição do sistema e, além disso, ao contrário do JIT, a TOC utiliza lotes de transferência diferentes e procura reduzir a variabilidade apenas na restrição. A TOC considera um desperdício despender recursos para reduzir variações em recursos não restritivos, pois a mesma é absorvida pela capacidade excedente. A TOC e o JIT concordam que o estoque é um desperdício, contudo para a TOC isso é verdade apenas quando o estoque é utilizado em um recurso não restritivo.

No Capítulo 3 é apresentada a revisão da literatura a respeito da comparação entre a Teoria das Restrições e a Manufatura Enxuta.

CAPÍTULO 3 COMPARAÇÕES ENTRE A MANUFATURA ENXUTA E A TEORIA DAS RESTRIÇÕES EXISTENTES NA LITERATURA

3.1. INTRODUÇÃO

O objetivo deste capítulo é descrever o que existe na literatura a respeito da comparação entre a Teoria das Restrições (TOC) e a Manufatura Enxuta. Para os objetivos do presente trabalho, entende-se que Sistema Toyota de Produção, Manufatura Enxuta e *Just In Time* (JIT) são termos que caracterizam a mesma abordagem de gestão. Dessa forma trabalhos referentes às três denominações foram inclusos nesta revisão da literatura.

Dentre as muitas ferramentas utilizadas por ambas as abordagens, sobressaem às técnicas de planejamento e controle da produção: o *Kanban* utilizado na Manufatura Enxuta e o OPT (*Optimized Production Technology*) e/ou o DBR (*drum-buffer-rope*) na Teoria das restrições. Para os propósitos desse trabalho tanto comparações entre ambas as abordagens quanto entre suas ferramentas de Planejamento e Controle da Produção (PCP) foram incluídas no estudo.

Para atingir seu objetivo, o presente trabalho realizou uma revisão da literatura que pretendia ser completa a respeito da comparação entre as duas abordagens e suas ferramentas. Além disso, um sistema de classificação é proposto a fim de auxiliar na análise do tema estudado. Tal análise serve para fornecer maior conhecimento e perspectivas de trabalhos futuros na área.

O presente trabalho foi estruturado da seguinte forma: na seção 3.2 é apresentado o método de pesquisa utilizado; na seção 3.3 é apresentado o sistema de classificação proposto, com os códigos utilizados; na seção 3.4 é apresentada a revisão da literatura a respeito da comparação entre as abordagens TOC e Manufatura Enxuta, estruturada de acordo com a classificação proposta; na seção 3.5 é feita uma análise sobre o tema do trabalho; e finalmente, na seção 3.6, são apresentadas algumas considerações finais sobre a revisão realizada.

3.2 MÉTODO DE PESQUISA BIBLIOGRÁFICA UTILIZADO

A presente seção utilizou o método teórico-conceitual para conduzir uma revisão da literatura a respeito da comparação entre a Teoria das Restrições e a Manufatura Enxuta. A revisão foi baseada na estrutura metodológica proposta por Godinho Filho e Fernandes (2003), mostrada na Figura 10.

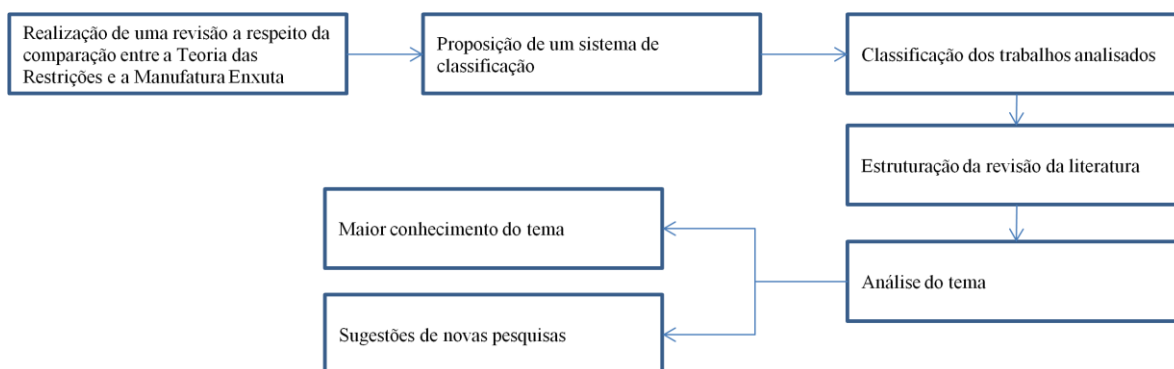


Figura 10 – Estrutura metodológica do trabalho

Fonte: Adaptado de Godinho Filho e Fernandes (2003).

A pesquisa foi realizada no período de agosto a novembro de 2010 em diversas bases de dados, entre elas, o COMPENDEX, Google Acadêmico, *Web Of Science*, Portal de Periódicos da Capes entre outros. Foram utilizadas como palavras-chave termos e siglas referentes as duas abordagens de gestão, além de termos que remetessem a ideia de comparação, entre eles os principais foram: *Lean Manufacturing*, *Just-in-time*, *Kanban*, *TOC*, *OPT*, *DBR*, *comparison* entre outros. Após uma pesquisa inicial, foram encontrados 33 artigos. Em seguida foi desenvolvido um sistema de classificação, detalhado na seção 3.3, que foi utilizado para classificar os artigos da revisão bibliográfica de maneira mais conveniente (seção 3.4) e também realizar a análise do tema (seção 3.5). Essa análise possibilitou melhor conhecimento do tema e sugeriu perspectivas de trabalhos futuros.

Vale ressaltar que apesar deste trabalho ter como propósito realizar uma revisão da literatura sobre a comparação entre JIT e TOC, outras abordagens permeiam essa revisão, pois alguns trabalhos fazem a comparação das duas abordagens de nosso interesse com outras abordagens/ferramentas, entre elas: MRP (*Materials Requirement Planning*), MRP II (*Manufacturing Resource Planning*), SCM (*Supply Chain Management*), CIM (*Computer Integrated Manufacturing*), TQM (*Total Quality Management*), CONWIP

(*Constant Work in Process*). Devido aos propósitos deste trabalho, foi explicitada aqui principalmente a comparação entre o JIT e TOC.

3.3 CLASSIFICAÇÃO DA LITERATURA A RESPEITO DA COMPARAÇÃO ENTRE A TEORIA DAS RESTRIÇÕES E A MANUFATURA ENXUTA

Nesta seção é apresentado o sistema de classificação proposto neste trabalho, bem como a classificação dos trabalhos revisados.

3.3.1 O sistema de classificação proposto

O sistema de classificação proposto baseou-se em quatro categorias principais, indicadas por letras maiúsculas:

- A. Fonte do trabalho;
- B. Método de pesquisa utilizado;
- C. Abrangência da comparação;
- D. Resultados da comparação.

Com relação à categoria A, a mesma foi dividida em duas subcategorias, buscando diferenciar os artigos provenientes de periódicos (P) e de congressos (C).

A categoria B foi organizada de acordo com os métodos de pesquisa presentes nos trabalhos analisados. Foram observados três tipos de métodos de pesquisa, a saber: modelagem e simulação (MS), teórico conceitual (TC) e *survey* (S).

Bertrand e Fransoo (2002) explicam que a modelagem baseia-se na hipótese que modelos podem explicar o comportamento ou parte do comportamento dos processos reais ou então capturar os problemas de tomada de decisões enfrentados pelos gestores em operações reais. A simulação tem por objetivo construir um modelo de um processo individual ou em grupo e experimentá-lo através da replicação do processo por meio da manipulação das variáveis e seus inter-relacionamentos dentro do modelo (BERENDS; ROMME, 1999).

A pesquisa do tipo teórico conceitual pode ser definida como sendo um produto de reflexões a partir de um fenômeno observado ou relatado pela literatura (revisão bibliográfica); compilação de ideias e opiniões de diferentes autores ou ainda modelagem teórica (BERTO; NAKANO, 2000).

A pesquisa *survey* envolve uma coleção de informações sobre indivíduos (através de questionários, telefonemas, entrevistas pessoais, etc.) ou sobre a unidade social da qual eles fazem parte (FORZA, 2002). Para Rea e Parker (1992), o processo de amostragem do *survey* determina informações sobre grandes populações com um nível de precisão conhecido. Segundo Miguel e Lee Ho (2010), neste tipo de pesquisa o pesquisador geralmente avalia uma amostra significativa de um problema a ser investigado a fim de extrair conclusões acerca dessa amostra.

A categoria C foi dividida em 3 subcategorias. A primeira identificou os artigos que realizaram uma comparação geral entre as abordagens TOC e Manufatura Enxuta (C1). Dentro da segunda, se enquadram os trabalhos que realizaram uma comparação entre ferramentas específicas de ambas as abordagens (C2), sendo que nessa classe houve um interesse em apresentar quais as ferramentas comparadas. Já a terceira subcategoria é representada pelos artigos que realizaram uma comparação geral tanto entre as abordagens quanto entre as ferramentas específicas (C3).

A categoria D buscou classificar os artigos de acordo com seus resultados, subdividindo-se em 3 subcategorias. A primeira identificou os artigos que apresentaram como resultado que uma determinada abordagem/ferramenta se sobressai em alguma situação específica (D1). Nesta subcategoria houve um interesse em identificar qual foi essa situação específica. Na segunda enquadraram-se os artigos que concluem que ambas as abordagens/ferramentas são complementares (D2). Por fim, a última subcategoria identificou os artigos que não se enquadraram nas categorias anteriores sendo chamados de outros (D3).

3.3.2 Classificação da revisão da literatura a respeito da comparação entre a Teoria das Restrições e a Manufatura Enxuta

Após a estrutura do sistema de classificação utilizada neste trabalho ter sido apresentada, foi possível realizar a classificação propriamente dita. Os 33 artigos foram classificados de acordo com o sistema proposto. Essa classificação quanto às quatro categorias é apresentada no Quadro 3. Os artigos foram colocados em ordem cronológica e alfabética dentro do ano de publicação.

QUADRO 3 – Classificação dos trabalhos da revisão a respeito da comparação entre a Teoria das Restrições e a Manufatura Enxuta.

Artigo/ano de publicação	Fonte do trabalho	Método de pesquisa utilizado	Abrangência da comparação	Resultados da comparação
AGGARWAL, C. S.; AGGARWAL, S. (1985)	P	TC	C3	D2
GELDERS, L. F; WASSENHOVE, L. N. V. (1985)	P	TC	C1	D2
PLENERT, G., BEST, T. D. (1986)	P	TC	C3	D1
FRY, T.D., BLACKSTONE, J. H. (1988)	P	TC	C1	D3
LAMBRECHT, M. R.; DECALUWE, L. (1988)	P	MS	C1	D2
GRUNWALD, H.; STRIEKWOLD, P. E. T.; WEEDA, P. J. (1989)	P	MS	C3	D1
LAMBRECHT, M.; SEGAERT, A. (1990)	P	MS	C2	D1
RAMSAY, S.; BROWN, S.; TABIBZADEH, K. (1990)	P	MS	C2	D1
PTAK, C. (1991)	P	TC	C1	D2
NEELY, A. D; BYRNE, M. D. (1992)	P	MS	C1	D2
COOK, D.P (1994)	P	MS	C1	D1
GARDINER, S. C.; BLACKSTONE, J. H.; GARDINER, L. R. (1994)	P	TC	C2	D1
CHAKRAVORTY, S. S; ATWATER, J. B (1996)	P	MS	C1	D1
MILTENBURG, J. (1997)	P	MS	C1	D1
HEIN, K. (1999)	C	TC	C1	D2
HURLEY, S. F; WHYBARK, D. C. (1999)	P	MS	C1	D1
MATSUURA, H.; KUROSU, S.; LEHTIMAKI, A. (1999)	C	TC	C1	D3
BOLANDER, S. F.; TAYLOR, S. G. (2000)	P	TC	C1	D1
DETTMER, H. W. (2001)	P	TC	C3	D2
FERGUSON, L. (2002)	C	TC	C1	D2
HUANG, H. H. (2002)	P	MS	C1	D2
NAVE, D. (2002)	P	TC	C1	D3
LEA, B. R; MIN, H. (2003)	P	MS	C3	D1
SALE, M. L; INMAN, R. ^ (2003)	P	S	C1	D1
TAKAHASHI, K.; MORIKAWA, K.; CHEN, Y. C. (2007)	P	MS	C2	D1
VENKATESH. M. A.; WAKCHAURE, V.D.; KALLURKAR, S. P (2007)	P	S	C1	D2
JOLDBAUER, H.; HUBER, A. (2008)	P	MS	C2	D1
PATTI, A. WATSON, K. J.; BLACKSTONE JR., J.H. (2008)	P	MS	C2	D1
WATSON, K. J.; PATTI, A. (2008)	P	MS	C2	D1
YANYING, C.; BINBIN, J. (2008)	C	TC	C1	D2
GUPTA, M.; SNYDER, D. (2009)	P	TC	C3	D3
KIM, S.; COX, J. F.; MABIN, V. J. (2009)	P	TC	C3	D3
WANG, Y.; CAO, J.; KONG, L (2009)	P	MS	C3	D2

Fonte: Dados da pesquisa.

3.4 A REVISÃO DA LITERATURA

Nesta seção a revisão da literatura a respeito da comparação entre a Teoria das Restrições e a Manufatura Enxuta foi estruturada utilizando a classificação proposta na seção 3.3, mais especificamente as duas últimas categorias: abrangência e resultados da comparação. A revisão foi estruturada dividindo-se primeiramente os artigos de acordo com a abrangência da comparação, ou seja, na seção 4.1 são apresentados os trabalhos que realizaram uma comparação geral entre as abordagens TOC e Manufatura Enxuta. Na seção 4.2 são apresentados os trabalhos que realizaram uma comparação entre ferramentas específicas de ambas as abordagens. Por fim, a seção 4.3 é representada pelos artigos que realizaram uma comparação geral entre as abordagens e também entre ferramentas específicas.

Em cada seção, os artigos foram organizados de acordo com os resultados da comparação, ou seja, os trabalhos foram apresentados obedecendo à categoria D do critério do sistema de classificação proposto. Portanto, foram separados os trabalhos que apresentaram como resultados que uma determinada abordagem/ferramenta se sobressaiu em alguma situação específica, aqueles que concluem que ambas as abordagens/ferramentas são complementares, e, por fim, os trabalhos que não se enquadraram nas categorias anteriores sendo chamados de outros.

3.4.1 Trabalhos que realizaram uma comparação geral entre as abordagens TOC e Manufatura Enxuta

De acordo com o sistema de classificação proposto, 18 trabalhos foram incluídos nessa categoria. Desses, 6 mostraram que uma determinada abordagem se sobressai em alguma situação específica, 9 mostraram que as abordagens são complementares e 3 foram classificados como outros. A seguir, será apresentado, um pouco sobre cada um deles.

3.4.1.1 Trabalhos que mostram que uma determinada abordagem se sobressai em alguma situação específica

Cook (1994) realizou uma modelagem/simulação com o objetivo de comparar as seguintes abordagens: manufatura tradicional (baseada no MRP), JIT e TOC. O ambiente simulado possuía padrão de fluxo *flow shop*, 5 estações de trabalho e um único tipo de produto. Foram utilizadas como medidas de desempenho: *throughput* (definido como a taxa de saída do sistema produtivo), média do tempo de fluxo, desvio padrão do tempo de fluxo e estoque em processo (WIP – *Work in Process*) médio. Os resultados mostraram que a abordagem tradicional não forneceu nenhuma vantagem sobre o TOC ou JIT. Além disso, o TOC obteve maior *throughput* total e menor desvio padrão do tempo de fluxo. Já com relação à média do tempo de fluxo e ao estoque médio em processo, não houve diferenças significativas entre os três sistemas. Além disso, nesse trabalho, o autor identificou pontos contrastantes e similares entre a TOC e o JIT. Como pontos divergentes ele afirmou que o JIT defende linhas balanceadas, enquanto a TOC admite linhas não balanceadas. Outro ponto é que o JIT elimina a dependência entre as estações por meio da eliminação de problemas randômicos e variações no tempo de processamento em cada estação de trabalho. Já a TOC busca reduzir variação apenas no recurso gargalo. Outra diferença é em relação ao lote de transferência e de processamento, pois o JIT pressupõe que os dois sejam iguais e para o TOC

eles devem ser diferentes. Como pontos similares o autor afirma que ambos possuem um interesse comum na melhoria contínua, ênfase na qualidade e na redução do WIP.

Chakravorty e Atwater (1996) também realizaram uma modelagem/simulação de forma a comparar linhas controladas pelas abordagens de manufatura tradicional (linha balanceada), JIT e TOC. Entretanto os autores utilizaram como medida de desempenho apenas o *throughput*. Dessa forma, os autores simularam 3 diferentes linhas com padrão de fluxo *flow shop*, representando cada uma das abordagens. Cada linha foi também simulada utilizando oito níveis de estoque para testar o efeito do estoque sobre o desempenho das três linhas. Como resultados, o artigo identificou que a linha controlada pelo JIT tem o melhor desempenho quando a variabilidade no sistema é baixa. Uma extensão deste fato é que o JIT parece obter maior *throughput* quando há suficiente estoque. O artigo também indicou que as linhas projetadas de acordo com os princípios da TOC são menos afetadas pela variabilidade dentro do sistema.

Outro autor que conduziu uma modelagem/simulação de modo a comparar o MRP, JIT e TOC foi Miltenburg (1997). O autor efetuou a análise de um modelo de produção, que consistiu em um ambiente *flow shop* com duas estações de trabalho e um único tipo de produto. Foram examinados os tipos de melhorias feitas por cada abordagem e os efeitos dessas melhorias no desempenho de cada linha. As medidas de desempenho utilizadas por este autor foram: *throughput*, nível de faltas (*shortage*), nível de estoques e tempo de fluxo. Como resultados, o autor afirmou que nenhuma das abordagens é melhor em todas as medidas de desempenho. O MRP teve o pior desempenho. O JIT apresentou mínimos níveis de estoques e tempos de fluxo. A TOC alcançou máximo *throughput* e falta mínima. Baseado na simulação, o autor concluiu que a abordagem tradicional (MRP) não deve ser utilizada quando os competidores estão usando o JIT ou a TOC. Ele também afirma que as melhorias na TOC são focadas nas áreas que mais afetam o nível de *throughput*, enquanto que no JIT as melhorias não são tão focadas como na TOC.

Hurley e Whybark (1999) realizaram uma simulação para investigar diferentes formas de *buffering* contra incertezas (entre elas estoque, capacidade excedente e redução da variabilidade) em uma célula de manufatura controlada pelo JIT e outra pela TOC. O modelo de simulação consistiu de 5 estações de trabalho, com padrão de fluxo *flow shop*, com 3 modelos de um produto, considerando suprimento irrestrito e tempos de *setup* desprezíveis nas duas primeiras estações. Para o caso da célula controlada pelo TOC, a quarta estação foi definida com recurso restritivo. Foram utilizadas como medidas de desempenho: *throughput*,

tempo de fluxo e utilização da capacidade. Os resultados da simulação indicaram que, para as duas abordagens, o uso de programas de redução da variabilidade ou de utilização de capacidade excedente deve ser preferível em relação à utilização de estoques, pois implicam em um aumento no *throughput* da célula. Para ambas as abordagens houve um aumento no *throughput* quando se utilizou a redução da variabilidade, seguida pelo uso de capacidade excedente e, por último, a utilização de estoques. Outra constatação é que, para os ambientes simulados, a TOC apresentou maior *throughput*, menor tempo de fluxo e maior utilização do que o JIT.

Bolander e Taylor (2000), por meio de uma pesquisa teórica, explicaram a lógica de programação do MRP, JIT e TOC. Ao discutir aspectos como capacidade excedente, WIP e requerimentos de dados, os autores afirmaram que o JIT tende a funcionar melhor em ambientes de manufatura com fluxo estável, o MRP tende a funcionar melhor em ambientes com padrão de fluxo job shop e o TOC funciona bem em ambos desde que exista um único recurso restritivo no processo. Além disso, os autores concluíram que a TOC minimiza os requerimentos de dados e esforços em *scheduling*, pois requer precisão apenas no recurso restritivo e o JIT requer pouco ou nenhum dado.

Sale e Inman (2003) realizaram uma *survey* buscando comparar a evolução no desempenho, em um período de 3 anos, em empresas que adotaram as abordagens TOC, ou JIT, ou ambos em conjunto (JIT/TOC) ou nenhum dos dois (chamado de manufatura tradicional). Os dados desta *survey* foram obtidos por meio de questionários enviados as empresas, com o intuito de medir o grau em que as mesmas praticaram a TOC, JIT ou ambos, e forneceram medidas financeiras e não financeiras a respeito do desempenho da empresa. Foi criado então, um critério único de medição do desempenho baseado em 13 critérios de desempenho financeiros e não financeiros. O peso de cada critério na elaboração deste critério único foi atribuído pelas 180 empresas respondentes. Embasados pela análise dos dados, utilizando análise de variância (ANOVA), os autores concluíram que a abordagem TOC apresentou o melhor desempenho, seguido por JIT/TOC, tradicional e JIT.

3.4.1.2 Trabalhos que mostraram que ambas as abordagens são complementares

O artigo de Gelders e Wassenhove (1985) teve como objetivo analisar o quão bem as abordagens de manufatura MRP, JIT e OPT reagem em ambientes onde existem claras restrições de capacidade. Para isso, realizaram uma pesquisa do tipo teórico-conceitual, e concluíram que, ao invés de responder a pergunta qual das três é a melhor, as mesmas

deveriam ser integradas formando uma abordagem híbrida. Primeiramente, o OPT planejaria cuidadosamente as restrições no médio prazo, isto é, forneceria um bom programa mestre. O MRP geraria os requerimentos de materiais, ou seja, basicamente seria uma poderosa base de dados para controlar milhares de itens. Finalmente, no curto prazo e para a parte repetitiva da empresa, o JIT seria utilizado para maximizar o *throughput*, isto é, para obter um alto carregamento de trabalho suavizado e puxado, com mínimo tempo de fluxo e pequeno WIP.

Lambrecht e Decaluwe (1988) apresentaram os diversos problemas relacionados ao MRP e defenderam que o JIT e a Teoria das restrições podem lidar com esses problemas. Mais especificamente, o MRP pode ser usado como um sistema de planejamento e a TOC e o JIT sendo utilizados em um nível operacional. Os autores, por meio de um modelo de simulação, constataram que o JIT é sensível a mudanças no plano de produção, enquanto a teoria das restrições encontra o gargalo antecipadamente, então o planejador pode ajustar o plano de produção antecipadamente.

Ptak (1991), por meio de uma pesquisa teórico-conceitual, discutiu como as abordagens de manufatura MRP/MRP II, JIT, OPT e CIM têm se desenvolvido em resposta as forças de mercado. Após analisar em detalhe cada uma das abordagens, o autor concluiu que o sucesso futuro da manufatura não pode depender de apenas um deles, e que a melhor opção é realizar uma combinação entre todas elas.

Neely e Byrne (1992) defenderam a ideia de que o JIT, o TOC e o MRP II são na verdade complementares e buscaram propor uma estrutura que integrasse as três abordagens. A estrutura proposta consistiu em uma base de dados para promover a integração (MRP II), uma estrutura organizacional que assegure a melhoria contínua (JIT) e um *software* que gere programações detalhadas para maximizar a lucratividade (OPT). Adicionalmente, os autores examinaram alguns aspectos da TOC, por meio de uma modelagem/simulação, com a intenção de compreender o elemento chave desta abordagem: o gargalo. Mais especificamente, eles investigaram como 6 algoritmos de sequenciamento se comportaram quando utilizados para programar trabalho em um ambiente com um recurso gargalo. O ambiente simulado foi composto de 9 estações de trabalho, com 20 produtos diferentes e com padrão de fluxo *flow shop*. Foram utilizadas como medidas de desempenho: *throughput*, tamanho médio de fila, despesa de operação (medida indiretamente pela média de utilização das máquinas). Como resultados, 5 dos 6 algoritmos testados obtiveram maior desempenho quando levaram em consideração o recurso gargalo, logo, isto sugeriu que levar em conta o recurso gargalo no *scheduling* teria efeito positivo no desempenho. Por fim, eles concluíram

que a programação do gargalo deve ser um dos primeiros passos no desenvolvimento de uma abordagem integrada de controle de materiais.

Hein (1999), por meio de uma pesquisa teórica, incorporou a análise focada da Teoria das Restrições com as técnicas e disciplinas da Manufatura Enxuta, fazendo com que a eficácia dos esforços de melhoria contínua aumentasse. Dessa maneira, o gerenciamento pôde focar os esforços de melhoria nas áreas que iriam fornecer o maior retorno. O autor propõe também utilizar o Gerenciamento Total da Qualidade (TQM) como uma linguagem que facilitasse a aceitação da Manufatura Enxuta e da TOC como algo maior que uma moda passageira.

Ferguson (2002) utilizou o método de pesquisa teórico conceitual para analisar os principais conceitos do JIT, as relações entre seus elementos e discutir os efeitos indesejáveis que poderiam ocorrer. Em seguida, o autor utilizou a TOC para analisar o JIT e melhorar sua eficácia, ou seja, buscou discutir uma forma de mudar o JIT com o intuito de alcançar o objetivo de aumentar o lucro da empresa.

Huang (2002) também buscou integrar aspectos do MRP, JIT e do OPT em um único modelo. O sistema desenvolvido foi chamado de modelo integrado puxado-empurrado sobre o conceito da TOC e visou controlar a manufatura como um todo, por meio da distribuição ou carregamento de peças ou materiais para o sistema produtivo desde o início, de acordo com o programa mestre de produção. Para o autor, o desempenho do sistema seria melhorado, pois iria enviar os materiais exatos para a planta de modo a fazer frente às programações variadas e forneceria os materiais que os recursos restrições requeressem utilizando a programação puxada. As operações depois do recurso restrição e aqueles recursos não restritivos iriam operar de acordo com a programação empurrada de modo a aumentar a taxa de produção e utilização tanto quanto possível. Para verificar a viabilidade do mesmo, foi realizada uma modelagem/simulação em um ambiente com padrão de fluxo *flow shop*, com 4 estações de trabalho e com 3 tipos de produtos. Foram utilizadas como medidas de desempenho o *throughput*, nível de estoque em processo (WIP), taxa de utilização dos recursos e taxa de utilização do recurso gargalo. Os resultados mostraram que o modelo integrado obteve maior *throughput* e utilização nos recursos gargalo e não gargalo do que o JIT e o MRP separadamente, entretanto não conseguiu alcançar o JIT no que diz respeito a níveis de estoque em processo.

Venkatesh, Wakchaure e Kallurkar (2007) observaram que muitos pesquisadores discutiam conceitualmente o valor de entender o efeito da implantação conjunta

de abordagens de manufatura. Dessa forma, eles investigaram os relacionamentos entre o JIT, TOC, TPM, TQM e o SCM e descreveram os relacionamentos sinérgicos entre os mesmos. Os autores realizaram uma *survey* em 45 empresas da Índia, e como resultado observaram a necessidade de implementação conjunta das abordagens citadas anteriormente, de modo a melhorar o desempenho da manufatura.

Os autores Yanying e Binbin (2008) utilizaram o método de pesquisa teórico conceitual para propor um sistema de planejamento e controle da produção, que integrasse o MRP II, o JIT e o TOC, voltado para a área de serviços. Os autores afirmaram que as abordagens acima citadas, de forma isolada, tinham alguns defeitos inevitáveis quando usados por empresas de serviços, pois eles não conseguiam fornecer os requerimentos necessários de flexibilidade e agilidade impostos pelo ambiente competitivo, mudanças constantes de demanda de mercado e as características dos serviços em si.

3.4.1.3 Outros

Fry e Blackstone (1988) propuseram um melhor programa de produção colocando de maneira otimizada tempos ociosos de modo a minimizar penalidades de atraso e adiantamento da produção. Os autores afirmaram que o JIT em sua forma pura é difícil de ser transferido para um ambiente de produção em lote intermitente, mas os princípios básicos podem ser aplicados, isto é, a redução dos tempos de setup e a utilização de tempos ociosos nas máquinas. Eles assinalaram também que o TOC reconhece a necessidade de utilização de ociosidade em algumas estações (não gargalos), e que seus procedimentos heurísticos carregam trabalho de modo a utilizar toda a capacidade do gargalo, e com relação aos recursos não gargalo, eles são programados pra frente ou para trás o que resulta em tempos planejados de início e fim das operações. Por fim, concluíram que à medida que o número de trabalhos na fila aumentava o tempo computacional para encontrar a solução ótima aumenta, portanto, procedimentos heurísticos eficientes precisavam ser pesquisados.

Matsuura, Kurosu e Lehtimaki (1999) compararam a forma como as abordagens MRP, JIT e OPT eram utilizadas na Finlândia e no Japão. Para isso, os autores utilizaram o método de pesquisa teórico conceitual de forma a identificar como as abordagens são interpretadas nesses países. Com relação ao JIT, na Finlândia ele era amplamente visto como uma técnica de produção e controle de estoques, já no Japão o JIT era entendido como um conceito maior, um paradigma. Referente ao OPT, no Japão ele era visto como uma técnica que utiliza o *software* OPT para a programação em conjunto com uma programação

finita, já na Finlândia era entendido como um conceito que encontrava meios de enfrentar os gargalos. Os autores afirmaram que existem diferenças nas práticas de controle e produção utilizadas em ambos os países e concluíram que isso se devia as diferentes interpretações das mesmas em cada país.

Nave (2002) discutiu teoricamente aspectos básicos do Seis Sigma, Manufatura Enxuta e TOC. O autor apresentou um modelo que ajudou a entender seus conceitos, efeitos, similaridades diferenças e auxiliou na escolha do mais adequado entre os três. O modelo consistiu em, primeiramente, entender qual a ênfase fundamental de cada um dos três. Em seguida foi necessário identificar os relacionamentos entre a teoria primária e o foco primário das ferramentas e do modelo em questão. O último passo consistiu em identificar os efeitos secundários. Como conclusão o autor afirmou que após seguir essa seqüência de passos, é possível encontrar a abordagem que se encaixava melhor na cultura da organização.

3.4.2 Trabalhos que realizaram uma comparação entre ferramentas específicas de ambas as abordagens

Nesta categoria foram encontrados 7 trabalhos que compararam as ferramentas *Kanban* e DBR. Todos esses trabalhos mostraram que uma determinada ferramenta se sobressai em alguma situação específica. A seguir, são apresentados os principais resultados/contribuições de cada um deles.

3.4.2.1 Trabalhos que mostraram que uma determinada ferramenta se sobressaiu em alguma situação específica

Lambrecht e Segart (1990) realizaram uma modelagem/simulação com o objetivo de comparar linhas controladas pelo *Kanban* e pelo DBR. O ambiente simulado consistiu em 6 estações de trabalho, com padrão de fluxo *flow shop*. Foi utilizada como medida de desempenho somente o *throughput* das linhas. Como resultado, os autores concluíram que o DBR foi superior ao *Kanban* em um ambiente com nível de estoque de segurança igual em cada estação de trabalho e, também em situações em que, além disso, existir pontos de reposição em todas as estações de trabalho.

Ramsay, Brown e Tabibzadeh (1990) realizam uma modelagem/simulação para determinar os benefícios das abordagens empurrada (MRP), puxada (*Kanban*) e da DBR. O ambiente simulado consistiu em 4 estações de trabalho com múltiplos produtos com variabilidade nos tempos de setup e na capacidade. Como resultados, os autores notaram que

a técnica empurrada é suscetível a falhas no reconhecimento de desvios na programação, enquanto o *Kanban* é sensível a falta de priorização de ordens. Já o DBR foi o mais bem sucedido entre os três.

Gardiner, Blackstone e Gardiner (1994) utilizaram o método de pesquisa teórico conceitual para discutir a evolução do TOC e seus componentes DBR e gerenciamento de *buffers*, comparando-os com o *Kanban*. Os autores constataram que a programação no DBR permite dois *buffers* no recurso restrição, sendo o primeiro em frente e o segundo após. O primeiro seria uma proteção contra problemas que pudessem ocorrer no sistema antes do recurso restrição e o segundo evitaria que o gargalo ficasse bloqueado. Já o *Kanban* não autorizou a produção quando o *buffer* de saída estava cheio. Os autores afirmaram também que em ambientes com múltiplos produtos o DBR é mais indicado do que o *Kanban*, pois ele não requer um buffer de material para cada peça em frente a cada recurso.

Takahashi, Morikawa e Chen (2007) realizaram uma modelagem/simulação para comparar o desempenho do *Kanban* com o DBR. O sistema de produção considerado consistiu de 3 estações de trabalho, com padrão de fluxo *flow shop*, que processava um único tipo de produto, sendo que a segunda estação foi escolhida para ser o gargalo. O custo total, composto pelo custo médio da demanda não atendida e pelo número de itens estocados e em processo em cada estágio, foi considerado como medida de desempenho. O objetivo foi investigar a influência da taxa de processamento e parâmetros de custo no desempenho da medida utilizada. Os resultados obtidos mostram que o *Kanban* se torna superior ao DBR quando os itens estocados em *buffers* que precedem o gargalo são menos importantes. Já o DBR é superior quando os itens estocados no *buffer* do recurso gargalo são importantes e também em condições em que demandas rejeitadas é um fator crítico.

Watson e Patti (2008) estudaram o efeito do *buffering* sobre o JIT e TOC para determinar se existia diferença no desempenho dos mesmos quando enfrentavam paradas não planejadas de máquinas. Para isso, eles realizaram uma modelagem/simulação para comparar as ferramentas DBR e *Kanban* em um ambiente *flow shop*, com 5 estações de trabalho, que processava um único tipo de produto, com linha não balanceada e supondo paradas de máquina. As medidas de desempenho utilizadas foram: *throughput*, tempo de fluxo e nível de estoque. As análises dos resultados sugeriram que o DBR obteve melhor desempenho do que o *Kanban* no que diz respeito aos três indicadores. Além disso, o DBR se mostrou mais tolerante à variabilidade do sistema do que o *Kanban*. Por fim, o DBR revelou-se mais

robusto do que o *Kanban*, pois foi capaz de manter os melhores valores relativos aos indicadores para diferentes níveis de estoque estudados.

Patti, Watson e Blackstone Jr.(2008) buscaram investigar se a forma como é feita a utilização de capacidade excedente, em linhas não balanceadas que enfrentam variabilidade devido a paradas de máquina não planejadas, tinha efeito no desempenho do sistema. Para isso, eles desenvolveram uma modelagem/simulação em um ambiente com padrão de fluxo *flow shop*, com 6 estações de trabalho, um único produto e com lote de transferência e processamento iguais a 1. A simulação permitiu comparar o desempenho de 3 configurações de capacidade excedente, nas linhas controladas pelas duas abordagens, *Kanban* e DBR. As 3 configurações de capacidade excedente (mantendo a média da capacidade excedente em todas elas) foram: balanceado, decrescente e crescente. No modelo balanceado, todos os recursos não restritivos possuíam a mesma capacidade excedente. No modelo decrescente, o primeiro recurso restritivo possuía a maior capacidade excedente, diminuindo de maneira sucessiva até a penúltima estação. No modelo crescente a primeira estação tinha a menor capacidade excedente, aumentando sucessivamente até a penúltima estação. O desempenho foi aferido pelo *throughput* e tempo de fluxo. Como resultados da simulação, o artigo mostrou que o modelo balanceado apresenta melhores resultados que os modelos não balanceados. Outra constatação foi que as linhas controladas pelo *Kanban* comportaram-se de maneira diferente das controladas pelo DBR quando enfrentam paradas não planejadas de máquina. A explicação para isso seria o fato de o *Kanban* restringir o fluxo de material entre as máquinas, ou seja, ser suscetível ao bloqueio e inábil em suavizar a demanda sobre a capacidade produtiva de uma máquina por meio da produção de WIP temporário entre as máquinas. Adicionalmente, uma vez que os estoques de segurança estivessem espalhados pelo sistema ao invés de concentrados apenas no gargalo, o *Kanban* é mais suscetível a permitir falta de materiais no gargalo. Disso, os autores concluíram que o DBR é mais robusto que o *Kanban*, quando o sistema produtivo apresenta quebra de máquina.

Joldbauer e Huber (2008) avaliaram o MRP, *Kanban*, CONWIP (*Constant Work in Process*) e DBR por meio do nível de serviço e estoque em processo (WIP). Para isso, foi realizada uma modelagem/simulação para responder questões relativas ao desempenho em nível de serviço, robustez e estabilidade (definida como sendo a sensibilidade da medida de desempenho com relação a mudanças em um único parâmetro do sistema de PCP). O ambiente simulado consistiu em 6 estações de trabalho, com padrão de fluxo *flow shop*, com 10 itens diferentes. Referente aos sistemas DBR e *Kanban*, o artigo constatou que

alterando a variabilidade e os níveis de WIP, o DBR se mostrava mais robusto do que o *Kanban*. A exceção era quando a variabilidade aumentava e se tinha baixos níveis de estoque em processo. Nessa situação o *Kanban* superava o DBR. Referente ao nível de serviço, o DBR obteve desempenho superior ao *Kanban*. Relativo à estabilidade, o *Kanban* saiu-se melhor do que o DBR. Além dessas conclusões, os autores ressaltaram que a maior vantagem do DBR sobre o *Kanban* foi que o DBR demandava um número menor de parâmetros a serem ajustados, o que não acontecia com o *Kanban*.

3.4.3 Trabalhos que realizaram uma comparação geral entre as abordagens e também entre ferramentas específicas

Foram enquadrados 8 trabalhos nessa categoria. Desses, 3 mostraram que uma determinada abordagem/ferramenta se sobressaiu em alguma situação específica, 3 mostram que as abordagens/ferramentas são complementares e dois foram classificados como outros. Os trabalhos são brevemente apresentados a seguir.

3.4.3.1 Trabalhos que mostraram que uma determinada abordagem/ferramenta se sobressaiu em alguma situação específica

Plenert e Best (1986) fizeram uma pesquisa do tipo teórico conceitual a fim de comparar as abordagens MRP, JIT e OPT em diversos aspectos: carregamento da produção, tamanho dos lotes, gargalos flutuantes, acurácia dos dados, programação da produção, flexibilidade e custo. Referente ao carregamento da produção, os autores constataram que tanto o JIT quanto o OPT assumiam capacidade finita. Com relação ao tamanho dos lotes, foi observado que o OPT trabalha com tamanhos de lote variáveis; já o JIT tenta reduzir o tempo de setup de forma a trabalhar com lotes menores. Com relação aos gargalos flutuantes, os autores explicaram que o OPT se previne dessa ocorrência por meio da utilização de uma programação "realística", com estoque de segurança; já no JIT eles não ocorrem, pois a programação da produção é sincronizada pelo *Kanban*. Sobre a necessidade de acurácia dos dados, foi observado que para o OPT ela é essencial somente nas restrições e no JIT ela é praticamente zero. A programação do OPT mostrou-se mais completa do que a do JIT, contudo a velocidade de fornecimento de programação no JIT foi maior. Com relação a flexibilidade, constatou-se que o JIT foi mais flexível que o OPT. Por fim, referente ao custo,

os autores afirmaram que o JIT era mais barato que o OPT. Os autores concluíram que ambas as abordagens apresentaram vantagens em relação ao tradicional sistema MRP.

Grunwald, Striekwold e Weeda (1989) propuseram uma forma quantitativa de comparar as abordagens MRP, JIT e OPT. A modelagem/simulação realizada teve como medidas de desempenho a eficiência, qualidade e flexibilidade. Os autores concluíram que para situações em que a incerteza e complexidade são pequenas o *Kanban* é o mais indicado. Já em situações onde a complexidade aumenta, o OPT é o sistema mais indicado.

Lea e Min (2003) analisaram o efeito da implementação do JIT e do TOC no desempenho de uma empresa. Para isso, os autores desenvolveram um modelo de simulação composto por 7 estações de trabalho que processavam 3 produtos diferentes para estoque. O desempenho do sistema foi aferido por medidas financeiras (lucratividade de curto e longo prazo) e não financeiras (taxa de atendimento de ordens e WIP). Os autores mostraram que o JIT superou o TOC com respeito à lucratividade no longo e curto prazo, nível de serviço e estoque em processo (WIP), devido a diferenças nas políticas de *buffer* e regras de sequenciamento. Uma contribuição importante do artigo foi a comparação entre as abordagens JIT e TOC, apresentada no Quadro 4.

QUADRO 4 – Resumo das similaridades e diferenças entre JIT e TOC

Critério	Similaridades	Diferenças	
		JIT	TOC
Metas	Aumenta o lucro	Redução do custo (reduz desperdício) por meio do controle da qualidade, garantia da qualidade e respeito pelas pessoas.	Fazer dinheiro no presente e também no futuro
Requerimento de dados	Quantidade e acurácia de dados menor do que as abordagens tradicionais	Requer poucos dados detalhados.	Dados mais detalhados para o gargalo e menos detalhados e precisos para não gargalos
Tecnologia para automação	-	Automação e computação não necessários	Automação e computação são requeridos para a implementação
Custo de implementação	-	Baixo	Alto, devido aos requerimentos de dados e automação
Tamanho do lote	Tamanho de lote menor, lote de transferência não precisa ser igual ao lote de processamento	Lotes pequenos ao longo de todo o processo	Lotes grandes para o gargalo e pequenos para os não gargalos
Ferramenta de controle do chão de fábrica	Produção é disparada por dispositivos de controle	<i>Kanbans</i> são utilizados para autorizar a produção na estação precedente	<i>Drum-Buffer-Rope (DBR)</i> é utilizado para liberar a material para a produção
Processo de <i>scheduling</i>	São necessários poucas e menos programações detalhadas comparado com as abordagens tradicionais	Programação detalhada apenas para a montagem final, todas as outras operações são autorizadas pela montagem final por meio do uso do <i>Kanban</i>	Programação detalhada para o gargalo e menos detalhada para os não gargalos
Melhoria contínua	Treinamento e educação são importantes	Processo <i>Kaizen</i> , não focado em uma área específica, mas todas as pessoas procuram um jeito de fazer o trabalho melhor.	Melhoria focada no gargalo
Estoque	Estoque precisa ser reduzido, menor que a abordagem tradicional (MRP)	Estoque zero é a meta, <i>buffer</i> depende do número de <i>Kanbans</i> no sistema	Algum estoque é necessário para suavizar a produção, a meta é minimizar o estoque. Os <i>buffers</i> são colocados em duas áreas chave: (1) em frente ao gargalo; (2) na intersecção do caminho dos não gargalos com o gargalo.
Planejamento da capacidade	Planejamento finito da capacidade	Capacidade é planejada por meio do uso de um <i>Kanban</i>	Capacidade é planejada por meio de simulação computacional

Fonte: Lea e Min (2003).

3.4.3.2 Trabalhos que mostraram que ambas as abordagens/ferramentas são complementares

Aggarwal e Aggarwal (1985) utilizaram o método de pesquisa teórico conceitual para avaliar as abordagens de manufatura MRP, JIT e TOC. Os autores concluíram que apesar dos bilhões de dólares gastos em *softwares* sofisticados, o real problema na implantação eram as pessoas, ou seja, motivá-las a constantemente atualizar o sistema e convencê-las a mudar seus métodos de trabalho. Os autores sugeriram que o JIT foi bem sucedido porque assumiu que os empregados estavam dispostos a aceitar o desafio e responsabilidade enquanto o MRP impunha uma disciplina rigorosa. Já o OPT tolerava distúrbios e requeria disciplina moderada. Eles afirmam ainda que a experiência ao longo dos anos poderia levar os gerentes a utilizarem mais de uma abordagem de manufatura em conjunto.

Dettmer (2001) adotou como premissa básica que uma abordagem híbrida TOC/Manufatura Enxuta seria potencialmente mais produtiva e mais fácil de implementar do que uma das duas separadamente. O autor conduziu uma revisão da literatura a respeito dos princípios e ferramentas das duas abordagens (Quadro 5). Como resultados, o artigo propôs um modelo conceitual que integrou (Quadro 6) ambas as abordagens, de modo a combinar seus benefícios e pontos fortes, com o intuito de obter melhor desempenho. Para o autor, o TOC ofereceu uma estrutura para direcionar os esforços do pensamento enxuto aos pontos em que ele teria maior efeito.

QUADRO 5 – Similaridades e diferenças entre Manufatura Enxuta e TOC

Similaridades		Diferenças	
Manufatura Enxuta e TOC	Manufatura Enxuta	TOC	
Uma metodologia que abrange todo o sistema	Redução do custo (fixo e variáveis) é a melhor meio para lucratividade	Custos tem um ponto de diminuição dos retornos; <i>Throughput</i> (\$) não têm.	
Melhoria contínua e qualidade são essenciais e a Participação do trabalhador é chave para o sucesso.	Não há limites para redução do esforço, espaço, custo e erros (Perfeição)	Redução do custo é secundário a geração do <i>throughput</i> .	
Objetivo: aumentar o lucro	Todas as instâncias para redução do desperdício são celebradas	Somente redução do desperdício na restrição tem um efeito imediato	
Valor é definido pelo consumidor	Recursos são tipicamente organizado ao redor de produtos específicos	Recursos são divididos ao longo das linhas de produtos ou cadeias de valor	
O fluxo de valor (cadeia de suprimentos) se estende além da planta de manufatura	Não diferencia restrições e não restrições; todas mudanças são (mais ou menos) igualmente importantes	Tempo perdido em uma restrição representa <i>throughput</i> perdido no sistema; tempo salvo em uma não restrição não tem valor imediato	
Minimiza o estoque	<i>Buffers</i> são coisas físicas	<i>Buffers</i> de tempo, e não de coisas físicas	
Pequenos lotes de produção	Enfatiza fluxo unitário	Reduzir a quantidade de fluxo tanto quanto possível sem comprometer o fluxo para a restrição	
Fluxo contínuo (em vez de fila)	Não diferencia lote de processamento e transferência	Lote de processamento é diferente do de transferência	
Puxado (<i>make-to-order</i> , ao invés de <i>mate-to-stock</i>)	Procura eliminar toda a variabilidade; não visa lidar com incerteza externa (mercado)	Aceita variação ("Murphy") e incerteza externa (mercado) como um meio de vida, e se protege contra isso na medida do possível	
Liberam capacidade oculta	Sem "rede de segurança" - tudo funciona ou nada funciona	Nada funciona sempre perfeitamente, então se planeja para isso	

Fonte: Adaptado de Dettmer (2001).

QUADRO 6 – Integrando a Manufatura Enxuta e a Teoria das Restrições

1. Identifique a restrição do sistema (TOC) Identifique a cadeia de valor (JIT) Avaliação do produto/quantidade (JIT) Mapeamento do processo (JIT) Análise de roteiros (JIT) Determinação da capacidade (TOC) Projeto de layout celular (JIT) Trabalho padrão (JIT) Regras e responsabilidades (JIT)	2. Decida como explorar a restrição do sistema (TOC) Dimensionamento do <i>Kanban</i> (JIT) Fluxo unitário (JIT) Planejamento para trás (TOC) "Drum" (TOC) * SMED-CCR somente (JIT) * <i>Poka-Yoke</i> -CCR somente (JIT) * <i>Kaizen</i> - CCR somente (JIT) Instruções gráficas de trabalho (JIT)
3. Subordine o restante a decisão no passo 2 (TOC) Sinal puxado <i>Kanban</i> (JIT) "Rope" (TOC) "Buffer" (TOC) ** 5S housekeeping - Não CCR (JIT) ** SMED - Não CCR (JIT) ** Manutenção preventiva total - Não CCR (JIT) ** <i>Kaizen</i> - Não CCR (JIT) ** Treinamento (JIT, TOC)	4. Eleve a restrição do sistema (TOC) 5. Volte ao passo 1, mas tenha cuidado com a inércia (TOC).

Atividades indicadas por um asterisco (*) são um esforço combinado entre engenharia e sistema de operação no recurso restrição de capacidade (CCR). Essas atividades são desempenhadas fora da programação normal da produção para minimizar o tempo parado do CCR. Estes são esforços de alta prioridade requeridos para maximizar a capacidade disponível no CCR.

Atividades indicadas por dois asteriscos (**) são operações sistêmicas amplas e esforços em recursos que não são restrições de capacidade (ou seja, todo lugar exceto o CCR). Essas atividades são desempenhadas durante os turnos normais, se possível, durante o tempo ocioso entre as produções de trabalho. Estes esforços tem prioridade menor, ao menos que o não CCR esteja em risco de se tornar um CCR.

Fonte: Adaptado de Dettmer (2001).

Wang, Cao e Kong (2009) propuseram um sistema de controle híbrido *Kanban/CONWIP* baseado na teoria das restrições (TOC). Tendo em mente que a TOC tinha vantagens em lidar com problemas nos recursos restritivos, o mesmo foi incorporado ao sistema híbrido *Kanban/CONWIP* de forma a obter um melhor desempenho. Para verificar a validade do sistema híbrido proposto, foi feita uma modelagem/simulação em uma linha de montagem composta por 12 estações de trabalho, com padrão de fluxo *flow shop* que processava um único tipo de produto. Foram utilizadas como medidas de desempenho: tempo médio de espera das ordens, WIP e o *throughput*. Os resultados da simulação mostraram que o sistema proposto foi capaz de resolver o problema do gargalo, melhorar a produtividade e reduzir o atraso. Além disso, para o ambiente simulado, o sistema híbrido proposto apresentou melhor desempenho (menor WIP e maior taxa de saída) do que o *CONWIP* e o *Kanban/CONWIP*.

3.4.3.3 Outros

Gupta e Snyder (2009) apresentaram uma revisão da literatura a respeito de trabalhos que compararam de forma integrada as abordagens TOC, MRP e JIT. Em cada

seção foram apresentados artigos importantes sobre o tema, com suas respectivas metodologias, contribuições e resultados, além de tabelas que mostravam o ano de publicação, metodologia utilizada, as abordagens analisadas e os principais fatores e características consideradas nos artigos, conjuntamente com um resumo das principais concordâncias e discordâncias. Os autores afirmaram que apesar do TOC competir efetivamente contra o MRP e JIT, os resultados ainda eram inconclusivos devido à maioria dos artigos falharem em um aspecto ou outro, entre eles: exemplos reais modelados, profundidade de características consideradas, rigor da metodologia empregada e profundidade da análise estatística realizada.

Kim, Cox e Mabin (2009) relacionaram as abordagens JIT e TOC e duas das principais formas pelas quais um sistema de produção tenta atenuar os efeitos negativos da variabilidade: (i) manter estoque de segurança, e/ou, (ii) manter capacidade ociosa nas máquinas. De acordo com os autores, um dos aspectos que diferenciou ambas as abordagens foi que enquanto o JIT focou na redução do estoque em processo, tentando atenuar os efeitos da variabilidade por meio da manutenção de uma capacidade balanceada e ociosa (essa capacidade ociosa é conseguida por meio da melhoria contínua), o TOC focou a manutenção de estoque de segurança a fim de maximizar a utilização do gargalo; dessa forma essa abordagem trabalha com linhas não balanceadas. Após realizar uma simulação, os autores concluíram que a questão importante não seria a linha balanceada (JIT) ou a não balanceada (TOC), mas sim aceitar e utilizar níveis apropriados de estoque de segurança e de capacidade ociosa para "proteger" a linha dos efeitos nocivos da variabilidade e também gerenciar continuamente a linha de forma a identificar e melhorar as causas da geração de estoques desnecessários e de problemas de quebra de máquinas.

3.5 ANÁLISES

Nesta seção, é apresentada uma análise geral da revisão da literatura realizada, sendo organizada em três subseções: análise geral dos trabalhos; análise dos trabalhos que mostraram que uma determinada abordagem/ferramenta se sobressaiu em alguma situação específica e; análise dos trabalhos que mostraram que as abordagens/ferramentas são complementares.

3.5.1 Análise

A revisão foi estruturada de acordo com o sistema de classificação proposto, baseado em quatro categorias, conforme apresentado na seção 3.1. Nas Tabelas de 2 a 5 são mostrados os percentuais e números de trabalhos enquadrados em cada categoria.

TABELA 2 – Número e percentual de trabalhos na categoria A

Categoria A	Número de artigos	Porcentagem
IP Periódico internacional	30	90,91%
IC Congresso internacional	3	9,09%

TABELA 3 – Número e percentual de trabalhos na categoria B

Categoria B	Número de artigos	Porcentagem
MS Modelagem e Simulação	16	48,48%
TC Teórico conceitual	15	45,45%
S <i>Survey</i>	2	6,06%

TABELA 4 – Número e percentual de trabalhos na categoria C

Categoria C	Número de artigos	Porcentagem
C1 Comparação geral entre as abordagens TOC e Manufatura Enxuta.	18	54,55%
C2 Comparação entre ferramentas específicas de ambas as abordagens.	7	21,21%
C3 Comparação tanto entre as abordagens quanto entre suas ferramentas	8	24,24%

TABELA 5 – Número e percentual de trabalhos na categoria D

Categoria D	Número de artigos	Porcentagem
D1 Determinado abordagem/ferramenta se sobressai em alguma situação específica	16	48,48%
D2 Abordagens/ferramentas são complementares	12	36,36%
D3 Outros	5	15,15%

Referente à categoria A, nota-se que o número de trabalhos provenientes de periódicos é preponderante e que há poucos trabalhos em congressos abordando o tema. No que diz respeito ao método de pesquisa utilizado, categoria B, percebe-se que a modelagem/simulação e a pesquisa teórico conceitual foram amplamente empregadas. Ainda sobre o método de pesquisa foi observada uma relação entre o mesmo e a conclusão do trabalho. Analisando as Tabelas 6 e 7, é possível perceber que 75% dos trabalhos que mostram que uma determinada abordagem/ferramenta se sobressai em alguma situação específica utilizaram o método modelagem e simulação. Já entre aos trabalhos que mostram que as abordagens/ferramentas são complementares o método mais utilizado foi o teórico conceitual (58,33%). Essa constatação pode sugerir que quando o intuito é comparar as

abordagens/ferramentas os autores buscam se basear em dados quantitativos oriundos da modelagem e simulação e que quando a intenção é mostrar que ambos as abordagens/ferramentas são complementares, os autores preferem tratar o assunto de maneira qualitativa. Dessa forma, parece haver uma lacuna na literatura sobre o tema para simular e/ou estudar quantitativamente a utilização conjunta das duas abordagens, bem como de suas ferramentas para o PCP.

TABELA 6 – Método de pesquisa utilizado nos trabalhos que mostram que uma determinada abordagem/ferramenta se sobressai em alguma situação específica

<u>Método de pesquisa</u>	<u>Número de trabalhos</u>	<u>Porcentagem</u>
MS	12	75,00%
TC	3	18,75%
S	1	6,25%

TABELA 7 – Método de pesquisa utilizado nos trabalhos que mostram que as abordagens/ferramentas são complementares

<u>Método de pesquisa</u>	<u>Número de trabalhos</u>	<u>Porcentagem</u>
TC	7	58,33%
MS	4	33,33%
S	1	8,33%

É possível observar também que, referente as categoria C e D, o número de trabalhos que compararam de maneira geral a TOC e a Manufatura Enxuta é preponderante, assim como os trabalhos que afirmaram que uma determinada abordagem se sobressai em alguma situação específica. Vale ressaltar a grande quantidade de trabalhos que buscaram integrar as abordagens/ferramentas. A seguir, discute-se com mais detalhes os trabalhos, explorando suas conclusões, ou seja, dividi-se a discussão em trabalhos que afirmaram que alguma abordagem e/ou ferramenta se sobressaiu em alguma situação específica e os artigos que defenderam que uma abordagem e/ou ferramenta são complementares.

3.5.2 Análise dos trabalhos que mostram que uma determinada abordagem/ferramenta se sobressai em alguma situação específica

Dos trabalhos analisados, 16 afirmaram que uma abordagem/ferramenta se sobressai em alguma situação específica. Os mesmos são apresentados no Quadro 7, mostrando o método de pesquisa utilizado, qual abordagem se sobressaiu e em quais variáveis, além da situação/ambiente em que isso foi observado e a abrangência da comparação.

QUADRO 7 – Trabalhos que mostram que alguma abordagem/ferramenta se sobressai em alguma situação específica

Artigo/ano de publicação	Método de pesquisa	Melhor abordagem/ferramenta	Com relação a que variáveis	Situação/ambiente	Abrangência da comparação
COOK, D.P. (1994)	MS	TOC	Throughput e desvio padrão do tempo de fluxo.	Padrão de fluxo <i>flow shop</i> , 5 estações de trabalho e um único tipo de produto.	C1
CHAKRAVORTY, S. S.; ATWATER, J. B.	MS	JIT	O JIT tem melhor desempenho quando a variabilidade do sistema é baixa.	Padrão de fluxo <i>flow shop</i> , com 5 estações de trabalho, um único produto.	C1
		TOC	É menos afetado pela variabilidade do sistema.	Padrão de fluxo <i>flow shop</i> , com 6 estações de trabalho, um único produto.	
		JIT	O JIT chega próximo aos mínimos níveis de estoques e tempo de fluxo.	Padrão de fluxo <i>flow shop</i> com duas estações de trabalho e um único tipo de produto.	
MILTENBURG, J. (1997)	MS	TOC	O TOC chega próximo ao máximo <i>throughput</i> e mínima falta (<i>shortage</i>), além disso, as melhorias na TOC são focadas nas áreas que mais afetam o nível de <i>throughput</i> , enquanto que no JIT as melhorias não são tão focadas como no TOC.	Padrão de fluxo <i>flow shop</i> com duas estações de trabalho e um único tipo de produto.	C1
HURLEY, S. F.; WHYBARK, D. C. (1999)	MS	TOC	TOC obtém maior <i>throughput</i> , menor tempo de fluxo, e maior utilização do que o JIT.	Padrão de fluxo <i>flow shop</i> , 5 estações de trabalho, com 3 modelos de um produto, considerando suprimento perfeito e tempos de <i>setup</i> desprezíveis nas duas primeiras estações	C1
BOLANDER, S. F.; TAYLOR, S. G. (2000)	TC	JIT	Complexidade do sistema, requerimento de dados.	JIT rende a funcionar melhor em ambientes de manufatura com fluxo estável. O JIT requer pouco ou nenhum dado, enquanto o TOC requer precisão de dados no recurso gargalo.	C1
		TOC	Complexidade do sistema	TOC funciona bem tanto em ambientes de manufatura com fluxo estável quanto com padrão de fluxo <i>job shop</i> desde que exista um único recurso restritivo no processo.	
SALE, M. L.; INMAN, R. A. (2003)	S	TOC	Utilizando critério próprio o TOC apresentou o melhor desempenho e melhora de desempenho seguido pela abordagem híbrida JIT/TOC, JIT e tradicional.	Nas 180 empresas respondentes do <i>Survey</i> , que relataram adotar alternativamente as abordagens: JIT, TOC, JIT/TOC ou nenhum dos dois (manufatura tradicional).	C1
LAMBRECHT, M.; SEGAERT, A. (1990)	MS	DBR	Throughput	Padrão de fluxo <i>flow shop</i> com 6 estações de trabalho em situações onde exista um nível de estoque de segurança igual em cada estação e, também em situações onde, além disso, existir pontos de reposição em todas as estações de trabalho.	C2
RAMSAY, S.; BROWN, S.; TABIBZADEH, K. (1990)	MS	DBR	Scheduling: a abordagem puxada é sensível a falta de priorização. DBR é o mais bem sucedido.	Quatro estações de trabalho baseado em um sistema com múltiplos produtos.	C2
GARDINER, S. C.; BLACKSTONE, J. H.; GARDINER, L. R. (1994)	TC	DBR	Throughput e estoque.	Em um ambiente com múltiplos produtos o DBR é mais apropriado que o <i>Kanban</i> porque ele não requer um nível de estoque de segurança para cada peça em frente a cada recurso. Ou seja, para atingir o mesmo <i>throughput</i> em um ambiente com múltiplos produtos, o DBR requer menos estoque do que o <i>Kanban</i> .	C2
TAKAHASHI, K.; MORIKAWA, K.; CHEN, Y. C. (2007)	MS	Kanban	Custo total	Padrão de fluxo <i>flow shop</i> , 3 estações de trabalho e que processa um único tipo de produto. O <i>Kanban</i> torna-se superior ao DBR em situações onde os itens estocados em <i>buffers</i> que precedem o gargalo são menos importantes,	C2
		DBR	Custo Total	Padrão de fluxo <i>flow shop</i> , 3 estações de trabalho e que processa um único tipo de produto. O DBR torna-se superior quando os itens estocados no buffer do recurso gargalo são importantes e sob condições onde demandas rejeitadas é um fator importante.	
		DBR	Robustez	Padrão de fluxo <i>flow shop</i> , 6 estações de trabalho, com 10 itens diferentes. A única exceção a esta ordem é quando a variabilidade aumenta e há níveis baixos de estoques, o <i>Kanban</i> supera o DBR	
JOLDBAUER, H.; HUBER, A. (2008)	MS	DBR	Nível de serviço	Padrão de fluxo <i>flow shop</i> , 6 estações de trabalho, com 10 itens diferentes.	C2
		Kanban	Estabilidade	Padrão de fluxo <i>flow shop</i> , 6 estações de trabalho, com 10 itens diferentes. <i>Kanban</i> tem mais estabilidade que o DBR, contudo a maior vantagem do DBR sobre o <i>Kanban</i> é o baixo número de parâmetros da estratégia de planejamento e controle da produção (PPCS) que precisam ser ajustados.	
PATTI, A.; WATSON, K. J.; BLACKSTONE JR., J.H. (2008)	MS	DBR	Robustez	Em um <i>flow shop</i> com 6 estações de trabalho, um único produto e com lote de transferência e processamento iguais a 1, o DBR é mais robusto que o <i>Kanban</i> , quando enfrenta paradas não planejadas de máquina, pois o segundo é suscetível a bloqueio e a falta de habilidade para suavizar a demanda por meio da produção de WIP temporário entre as máquinas. Adicionalmente, uma vez que os estoques de segurança estão espalhados pelo sistema ao invés de concentrados na restrição, o <i>Kanban</i> é mais suscetível a falta (<i>starvation</i>) na restrição.	C2
WATSON, K. J.; PATTI, A. (2008)	MS	DBR	Throughput, tempo de fluxo, variabilidade do sistema e robustez.	Padrão de fluxo <i>flow-shop</i> , com 5 estações de trabalho, que processa um único tipo de produto, com linha não balanceada e supondo paradas não planejadas de máquina.	C2
PLENERT, G.; BEST, T. D. (1986)	TC	OPT	O OPT é mais completo que o JIT	O OPT é mais completo que o JIT, pois inclui muitas das características do JIT mais alguns benefícios adicionais.	C3
GRUNWALD, H.; STRIEKWOLD, P. E. T.; WEEDA, P. J. (1989)	MS	JIT	Complexidade do sistema	Em um ambiente baseado em informação previamente discutida na literatura, os autores afirmam que para situações com baixa incerteza e complexidade o <i>Kanban</i> é indicado.	C3
		TOC	Complexidade do sistema	Em um ambiente baseado em informação previamente discutida na literatura, os autores afirmam que quando a complexidade aumenta o OPT é indicado.	
LEA, B. R.; MIN, H. (2003)	MS	JIT	O JIT supera o TOC com respeito à lucratividade no longo e curto prazo, nível de serviço e estoque em processo (WIP)	O ambiente de simulação foi composto por 7 estações de trabalho que processam 3 produtos diferentes para estoque (<i>make-to-stock</i>)	C3

No Quadro 7 é possível observar que os autores chegaram a resultados similares em alguns trabalhos. Bolander e Taylor (2000) e Chakravorty e Atwater (1996) chegaram à mesma conclusão de que o JIT funciona melhor em ambientes com menor

variabilidade e complexidade, enquanto que para o oposto a TOC é mais indicado. Isso parece se aplicar às suas respectivas ferramentas, pois de acordo com Grunwald, Strickwold e Weeda (1989) em situações com baixa incerteza e complexidade do sistema o *Kanban* é indicado e à medida que a complexidade aumenta o OPT/DBR é mais indicado. Watson e Patti (2008) reforçam este ponto ao afirmar que o DBR é mais tolerante a variabilidade no sistema do que o *Kanban*.

Cook (1994) e Miltenburg (1997) observam também que para um padrão de fluxo *flow shop* e um único tipo de produto, a TOC alcança maior *throughput* que o JIT. Entretanto, embasado pelos resultados de sua modelagem/simulação, o segundo afirma que o JIT apresentou mínimos níveis de estoques e tempos de fluxo e a TOC alcançou máximo *throughput* e falta mínima e, além disso, os esforços da TOC são direcionados para as áreas que mais afetam o *throughput*, enquanto as melhorias do JIT não são tão focadas. Hurley e Whybark (1999) chegaram à conclusão de que o TOC também supera o JIT em relação ao *throughput*, utilização e tempo de ciclo, para um ambiente composto por 5 estações de trabalho, com 3 modelos de um produto, considerando suprimento perfeito e tempos de *setup* desprezíveis nas duas primeiras estações.

Diversos autores apontaram as vantagens da ferramenta DBR sobre o *Kanban*. Ramsay, Brown e Tabizadeh (1990) apontam que o DBR possui um melhor *scheduling*, pois o *Kanban* é particularmente sensível falta de priorização. Na simulação realizada por Lambrecht e Segart (1990), o DBR alcançou maior *throughput* que o *Kanban* em um ambiente com nível de *buffer* igual em cada estação de trabalho e, também em situações em que havia pontos de reposição em cada estágio produtivo. Gardiner, Blackstone e Gardiner (1994) observaram que o DBR atingiu o mesmo *throughput* que o *Kanban*, em um ambiente com múltiplos produtos, utilizando menos estoque. Na simulação realizada por Watson e Patti (2008) o DBR atingiu maiores níveis de desempenho, medido pelo *throughput* e tempo de fluxo ao mesmo tempo em que reduziu os requerimentos de estoque relativo ao *Kanban*. Além disso, eles afirmaram que o DBR seria mais tolerante a variabilidade do sistema e mais robusto quando enfrentasse paradas não planejadas de máquina. As simulações de Patti, Watson e Blackstone (2008) e Joldbauer e Huber (2008) chegaram ao resultado de que o DBR é mais robusto que o *Kanban* quando enfrentasse paradas de máquinas. A exceção para isso foi apontada pelo segundo, pois quando a variabilidade aumentou e o nível de estoque foi baixo, o *Kanban* superou o DBR. Este trabalho ainda apontou que o *Kanban* apresentou maior estabilidade e o DBR alcançou melhor nível de serviço. Takahashi, Morikawa e Chen (2007)

abordaram a questão do custo total e na simulação por eles realizada, o *Kanban* obteve menor custo total em situações em que os itens estocados em *buffers* que precediam o gargalo eram menos importantes, padrão de fluxo *flow shop*, 3 estações de trabalho e um único tipo de produto. Já para todas as outras situações, ou seja, quando os itens estocados no *buffer* do recurso gargalo eram importantes e sob condições onde era importante diminuir o número médio de demandas rejeitadas, o DBR obteve menor custo total.

Na simulação realizada por Lea e Min (2003), o JIT superou o TOC com respeito à lucratividade no longo e curto prazo, nível de serviço e estoque em processo (WIP), devido a diferenças em regras e políticas de sequenciamento, entretanto, para Plenert e Best (1986) o OPT mostrou-se mais completo que o JIT.

Por fim, analisando os trabalhos que afirmaram que uma abordagem/ferramenta se sobressaiu em alguma situação específica é possível perceber que a maioria dos artigos analisados (56,25%) afirmou que o TOC/DBR prevaleceu. Isso é mostrado na Tabela 8

TABELA 8 – Número e percentual de trabalhos que mostram que alguma abordagem/ferramenta prevaleceu em relação à outra

Abordagem e/ou ferramenta prevalece	Número de trabalhos	Porcentagem
TOC	9	56,25%
JIT	1	6,25%
Cada um se sobressai em uma situação ou aspecto específico	6	37,50%

3.5.3 Análise dos trabalhos que mostraram que as abordagens/ferramentas são complementares

Nesta categoria, foram agrupados todos os trabalhos que consideraram as abordagens e, ou, ferramentas como sendo complementares, obtendo um total de 12 trabalhos. Os trabalhos desta categoria são apresentados no Quadro 8, mostrando o método de pesquisa utilizado, as abordagens/ferramentas que foram consideradas complementares, o motivo para isso e a forma de integrá-las. Os trabalhos foram organizados em ordem cronológica e alfabética respeitando primeiramente a abrangência da comparação.

Alguns autores, como Hein (1999) e Ferguson (2002) buscaram integrar a Manufatura Enxuta e a Teoria das Restrições de modo a melhorar a eficácia dos esforços de melhoria contínua. Dettmer (2001) afirmou que o TOC forneceu uma boa estrutura para direcionar os esforços da Manufatura Enxuta para onde eles teriam maior retorno. O autor também propõe a integração das duas abordagens, pois acredita que isso seria potencialmente

mais robusto (mais produtivo e mais fácil de implantar) do que uma das duas abordagens separadamente

QUADRO 8 – Trabalhos que mostram que as abordagens/ferramentas são complementares

Artigo/ano de publicação	Método de pesquisa	Quais abordagens/ferramentas	Motivo	Forma	Abrangência da comparação
GELDERS, L. F.; WASSENHOVE, L. N. V. (1985)	TC	JIT, TOC e MRP	AS três abordagens se complementam e a melhor solução é provavelmente um sistema híbrido entre eles.	O OPT planejaria cuidadosamente as restrições no médio prazo (forneceria um bom programa mestre), o MRP geraria os requerimentos de materiais (seria uma poderosa base de dados para controlar milhares de itens) e, no curto prazo e para a parte repetitiva da empresa, o JIT seria utilizado para maximizar o <i>throughput</i> .	C1
LAMBRECHT, M. R.; DECALUWE, L. (1988)	MS	JIT, TOC e MRP	JIT e a teoria das restrições podem lidar com os problemas do MRP	O MRP pode ser usado como um sistema de planejamento e o JIT e o TOC em nível operacional.	C1
PTAK, C. (1991)	TC	MRP, MRP II, JIT, OPT e CIM (computer integrated manufacturing)	O autor conclui que o sucesso futuro da manufatura não pode depender de apenas uma abordagem, e que a melhor opção é realizar uma combinação entre todas as abordagens discutidas	Não sugere	C1
NEELY, A. D.; BYRNE, M. D. (1992)	MS	JIT, TOC e MRP II	Defendem a ideia de que o JIT, o TOC e o MRP II são na verdade complementares e buscam propor uma estrutura que integre os 3 sistemas	MRP II seria uma base de dados para promover a integração, o JIT uma estrutura organizacional que asseguraria a melhoria contínua e o OPT um <i>software</i> que geraria programações detalhadas para maximizar a lucratividade.	C1
HEIN, K. (1999)	TC	TOC, JIT e TQM	Fazer com que a eficácia dos esforços de melhoria contínua aumente.	Incorporar a análise focada da Teoria das restrições com as técnicas e disciplinas da Manufatura Enxuta, dessa forma o gerenciamento pode focar os esforços de melhoria nas áreas que irão prover o maior retorno.	C1
FERGUSON, L. (2002)	TC	JIT, TOC	O autor revisa os principais conceitos do JIT, discute seus efeitos indesejáveis e avalia os links entre seus vários elementos.	Utiliza a TOC para analisar o JIT e melhorar sua eficácia.	C1
HUANG, H. H. (2002)	MS	JIT, TOC e MRP	Encontrar um modelo de produção de manufatura para ser aplicado em ambientes competitivos e de mudança não antecipada e constante.	O modelo desenvolvido é chamado de modelo integrado puxado-empurrado sobre o conceito da TOC e visa controlar a manufatura como um todo, por meio da distribuição ou carregamento de peças ou materiais para o sistema produtivo desde o início, de acordo com o programa mestre de produção. Dessa forma, o desempenho do sistema será reforçado, pois irá enviar os materiais exatos para a planta de modo a fazer frente às programações variadas e fornecerá os materiais que os recursos restrição requerem utilizando a programação puxada. As operações depois do recurso restrição e aqueles recursos não restritivos irão operar de acordo com a programação empurrada de modo a aumentar a taxa de produção e utilização tanto quanto possível.	C1
VENKATESH, M. A.; WAKCHAURE, V.D.; KALLURKAR, S. P. (2007)	S	JIT, TOC, TPM, TQM e SCM	Conduzem um survey, e os resultados mostram a necessidade de implementação conjunta entre abordagens para revitalizar a manufatura.	Fornecem uma estrutura teórica que integra as 5 abordagens (figura 2).	C1
YANYING, C.; BINBIN, J. (2008)	TC	JIT, TOC e MRP II	Os autores partiram da constatação de que as abordagens de planejamento e controle da produção apresentam limitações e defeitos quando utilizados em empresas de serviços, pois eles não conseguem fornecer os requerimentos necessários de flexibilidade e agilidade impostos pelo ambiente competitivo, mudanças constantes de demanda de mercado e as características dos serviços em si.	O sistema integrado proposto implementa o controle do fluxo de material, capacidade de serviço e qualidade em produção e ajusta os defeitos causados pelo controle empurrado do MRP II e do controle puxado do JIT. Além disso, o controle JIT/TOC implementa o controle dinâmico de operações para lidar com a mudança constante de demanda de mercado, controlar a qualidade de modo a atingir heterogeneidade necessária em serviços, e controlar os recursos gargalo de modo a modificar e ajustar os planos de produção.	C1
AGGARWAL, C. S.; AGGARWAL, S. (1985)	TC	JIT, TOC e MRP	As três abordagens são boas mas problemas com as pessoas podem destruir a eficácia das mesmas.	O JIT e a TOC podem resolver a maioria dos problemas com as pessoas.	C3
DETTMER, H. W. (2001)	TC	TOC, JIT.	Um sistema híbrido entre as abordagens JIT e TOC é potencialmente mais robusto (mais produtivo e mais fácil de implementar) do que um dos dois separadamente.	Um modelo conceitual é proposto, o qual integra ambas as abordagens e faz uso de seus pontos fortes e benefícios, afim de obter melhor desempenho.	C3
WANG, Y.; CAO, J.; KONG, L. (2009)	MS	Kanban, CONWIP, TOC	Visam propor um sistema de controle híbrido Kanban /CONWIP baseado na TOC.	O TOC tem vantagens em lidar com problemas nos recursos restritivos e o mesmo foi incorporado ao sistema híbrido Kanban /Conwip de forma a obter um melhor desempenho.	C3

Gelders e Wassenhove (1985) propuseram que OPT, MRP e JIT fossem integrados formando um sistema híbrido. O OPT planejaria cuidadosamente as restrições no médio prazo (forneceria um bom programa mestre), o MRP geraria os requerimentos de materiais (seria uma poderosa base de dados para controlar milhares de itens) e, no curto prazo e para a parte repetitiva da empresa, o JIT seria utilizado para maximizar o *throughput*. Neely e Byrne (1992) propuseram a integração entre JIT, TOC e MRP II, consistindo de uma

base de dados para promover a integração (MRP II), uma estrutura organizacional que assegurasse a melhoria contínua (JIT) e um *software* que gerasse programações detalhadas para maximizar a lucratividade (OPT). Yanying e Binbin (2008) propuseram integrar as mesmas abordagens. O sistema integrado proposto implementou o controle de fluxo de materiais, capacidade de serviços e qualidade na produção, e superou os defeitos causados pelo controle empurrado do MRP II e pelo controle puxado do JIT. Além disso, o controle JIT/TOC implementa um controle dinâmico de operações para lidar com a mudança constante de demanda de mercado, controlar a qualidade de modo a atingir heterogeneidade necessária em serviços, e controlar os recursos gargalo de modo a modificar e ajustar os planos de produção. Por fim, Huang (2002) buscou integrar o JIT, TOC e MRP de forma a alcançar resposta rápida ao consumidor e aumentar a flexibilidade na produção dos itens.

Já Wang, Cao e Kong (2009) buscaram integrar o *Kanban*, o *CONWIP* e o TOC, pois acreditaram que TOC tinha vantagens em lidar com problemas nos recursos restritivos e o mesmo foi incorporado ao sistema híbrido *Kanban/CONWIP* de forma a obter um melhor desempenho. Os autores realizaram uma simulação e os resultados mostraram que o sistema proposto foi capaz de resolver o problema do gargalo, melhorar a produtividade e reduzir o atraso. Além disso, para o ambiente simulado, o sistema híbrido proposto apresentou melhor desempenho (menor WIP e a maior taxa de saída) do que o *CONWIP* e o *Kanban/CONWIP*.

Finalmente, pode-se destacar os autores Ptak (1991) e Venkatesh, Wakchaure e Kallurkar (2007) que propuseram a integração de diversas abordagens. Ptak (1991) sugeriu a integração do MRP, MRP II, JIT, OPT e CIM, porque para ele o sucesso futuro da manufatura não poderia depender de apenas um deles, e que a melhor opção seria realizar uma combinação entre todas as abordagens discutidas. Já Venkatesh, Wakchaure e Kallurkar (2007), buscaram integrar o JIT, TOC, TPM, TQM e SCM, pois acreditavam que por meio da integração das mesmas, existia potencial para adicionar valor e alcançar uma melhor posição competitiva.

3.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente capítulo teve como objetivo realizar uma revisão da literatura a respeito da comparação entre a Teoria das Restrições e a Manufatura Enxuta, assim como propor um sistema de classificação para os trabalhos. Os artigos foram organizados de acordo com o sistema proposto e foi efetuada a análise dos mesmos.

O sistema de classificação proposto foi de extrema importância para este trabalho bem como para a geração de maior conhecimento sobre o tema, pois classificou os trabalhos em suas respectivas categorias e estruturou toda a revisão da literatura aqui abordada, tornando o trabalho mais organizado e, conseqüentemente, facilitando o entendimento.

A análise realizada teve como objetivo aumentar o conhecimento sobre o tema. De uma forma geral, observou-se a preponderância de trabalhos que buscaram comparar as duas abordagens, assim como os que afirmaram que uma abordagem/ferramenta se sobressai em alguma situação específica, a qual foi identificada e apresentada no decorrer deste capítulo. Vale ressaltar o grande número de trabalhos que defenderam que as abordagens/ferramentas são na verdade complementares ou que buscaram integrar as mesmas.

Por fim, foi observado ao longo dessa revisão que não é possível afirmar que uma das abordagens/ferramentas seja melhor, pois mesmo com a predominância de trabalhos afirmando que o TOC/DBR se sobressaiu, nota-se que há situações onde o JIT/*Kanban* também prevaleceu. Portanto, é necessária uma correta avaliação da empresa e de seu ambiente, tornando possível escolher adequadamente uma abordagem, ou um híbrido entre elas, de modo a obter os ganhos esperados.

CAPÍTULO 4: ESTUDO DA ALOCAÇÃO DE PROGRAMAS DE MELHORIA

4.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo são apresentadas as simulações realizadas neste trabalho com o objetivo de estudar diferentes alternativas de alocação de programas de melhoria em um ambiente *flowshop*. As simulações foram feitas utilizando o modelo híbrido *System Dynamics-Factory Physics* desenvolvido por Godinho Filho e Uzsoy (2008a, 2008b, 2009) e o *software* Vensim, que é ideal para simular ambientes dinâmicos. Para este trabalho, será utilizado como base o modelo original desenvolvido por estes autores e a expansão do mesmo realizada por Guimarães (2010). Essa expansão foi feita para modelar um ambiente com padrão de fluxo *flowshop*, 5 estações de trabalho que processam um único tipo de produto.

Nesse estudo foi adotada a consideração de que o investimento em termos financeiros para realizar uma melhoria de 50% em uma estação de trabalho é equivalente ao necessário para obter uma melhoria de 10% em 5 diferentes estações de trabalho. Essa consideração é muito simplista, o que pode ser observado por meio de um exemplo prático. Supondo que um gerente esteja avaliando uma melhoria no tempo de *setup* em seu processo produtivo, que consiste em uma simples linha de produção composta por 5 estações de trabalho com uma delas sendo o recurso RRC. O gerente precisa escolher uma das duas alternativas de melhoria: a concentrada, 50% de melhoria no recurso RRC e a dispersa, 10% de melhoria em todos os recursos. Após uma análise inicial, ele constata que para melhorar em 10% o tempo de *setup* em cada estação de trabalho, o investimento requerido é baixo, pois com ações simples é possível alcançar tal melhoria. Já para melhorar 50% em uma única estação, o investimento é maior, pois a melhoria inicial é simples e não custosa, entretanto a partir do momento que se consegue reduzir o tempo de *setup* para um determinado valor, obter uma melhoria além desse ponto requer um alto investimento. Por exemplo, é mais fácil em um processo produtivo repleto de desperdícios, reduzir o tempo de *setup* de 100 minutos para 90, por meio de ações simples como preparação das ferramentas do próximo *setup* em um dispositivo de fixação. Após a retirada dessas perdas iniciais, obter uma melhoria de 90 minutos para 50 torna-se muito mais difícil, pois os problemas são menos óbvios e requerem

um investimento maior para serem eliminados. Apesar dessa consideração de investimento equivalente ser simplista, ela foi considerada aqui como a ideal como ponto de partida para a realização deste trabalho, cabendo futuramente investigar mais detalhadamente a questão do investimento, para viabilizar uma comparação mais adequada entre as políticas de melhoria de ambas as abordagens.

Este capítulo foi estruturado da seguinte forma: primeiramente focou-se nas 6 variáveis em estudo. Para essas seis variáveis, a seção 4.2 mostra a comparação entre a alternativa de melhorar 50% no recurso restrição de capacidade (RRC) versus melhorar 10% em todas as estações de trabalho; a seção 4.3 mostra as simulações realizadas para encontrar o ponto em que investir em 10% em todas as estações de trabalho torna-se melhor que investir 50% no RRC; a seção 4.4 mostra a comparação entre a alternativa de melhorar 25% no RRC versus melhorar 10% em todas as estações de trabalho; por fim, na seção 4.5 é apresentada uma abordagem híbrida entre as alternativas de alocação de melhoria discutidas neste trabalho.

4.2 COMPARAÇÃO ENTRE MELHORAR 50% NO RECURSO RESTRIÇÃO DE CAPACIDADE VERSUS MELHORAR 10% EM TODAS AS ESTAÇÕES

Nesta seção são estudados os seguintes programas de melhoria:

- i. Melhoria no tempo médio de *setup*;
- ii. Melhoria na variabilidade do tempo de processamento;
- iii. Melhoria no tempo médio de reparo;
- iv. Melhoria no tempo médio entre falhas;
- v. Melhoria na taxa média de defeitos;
- vi. Melhoria na variabilidade do tempo entre chegadas de ordens.

As simulações realizadas tiveram como objetivo comparar as duas opções de melhoria aqui estudadas: foco no recurso restrição de capacidade (50% de melhoria em uma variável no RRC) versus melhoria em todas as estações de trabalho (10% de melhoria em todas as estações). Portanto, ambas as opções foram testadas para os 6 programas de melhoria estudados. O desempenho de cada programa de melhoria foi aferido pelo *lead time*.

Inicialmente, baseado no resultado de Godinho Filho e Uzsoy (2011) tem-se que a comparação entre ambas as alternativas é afetada pela diferença na utilização do RRC e dos não RRCs. Dessa forma, a política de melhoria de 50% no RRC é mais beneficiada

quanto maior for à diferença na utilização do RRC e não RRCs. Portanto, para verificar tal suposição, foram simulados dois diferentes cenários:

- a. Cenário 1: O tempo de processamento do recurso RRC é 15% maior do que o tempo de processamento dos recursos não RRC;
- b. Cenário 2: O tempo de processamento do recurso RRC é 10% maior do que o tempo de processamento dos recursos não RRC.

Nos dois cenários, foram testados diferentes níveis de utilização do RRC, a saber: 99,8%, 95,5% e 90,5%. Além disso, as simulações foram realizadas com o RRC estando nas 5 estações, com a intenção de verificar se há diferença no desempenho dos programas de melhoria de acordo com a posição do RRC.

Foram utilizadas como medidas de desempenho nesta seção, além do próprio *lead time*, o número de casos em que um determinado programa se sobressaiu em relação ao outro e o gap que pode ser definido como a porcentagem de melhoria incremental da opção com melhor resultado em relação à outra. Por exemplo, para o programa de melhoria no tempo de *setup* da Tabela 11, as duas opções de melhoria foram comparadas buscando encontrar a maior e a menor melhoria. Sendo assim o cálculo de gap foi efetuado por meio da equação 29.

$$\text{GAP} = (\text{menor melhoria} - \text{maior melhoria}) / \text{menor melhoria} \quad (29)$$

Nos gráficos do presente capítulo são apresentados os gaps calculados para cada programa de melhoria, posição do RRC e nível de utilização do mesmo. Mais especificamente, são mostrados 5 pontos (um para cada posição do RRC) para cada um dos 6 programas de melhoria, aparecendo só a alternativa com maior redução do *lead time* para cada programa. Por exemplo no Gráfico 1, aparecem apenas pontos referentes a alternativa de 50% de melhoria no RRC, pois essa opção se sobressaiu à opção de melhoria de 10% em todas as estações. Com o intuito de facilitar a visualização dos pontos, foram construídos dois gráficos para cada nível de utilização do RRC, sendo então 15 pontos por gráfico de um total de 30 pontos para cada nível de utilização do RRC estudado.

A organização da presente seção segue exatamente a lógica mostrada; ou seja, na seção 4.2.1 são apresentados os resultados obtidos considerando que o RRC tem o tempo natural de processamento 15% superior ao tempo natural de processamentos das demais estações e na subseção 4.2.2 são apresentados os resultados obtidos considerando que o RRC

tem o tempo natural de processamento 10% superior ao tempo natural de processamentos das demais estações.

4.2.1 Cenário 1: Recurso restrição de capacidade com tempo de processamento 15% superior as demais estações de trabalho

Os valores dos *lead times* em minutos, para cada posição do RRC e nível de utilização, são apresentados nas Tabelas 9, 10 e 11. Nos Gráficos de 1 a 6, são apresentados os gaps entre as alternativas de melhoria em 50% no recurso RRC e a de melhoria em 10% em todas as estações.

TABELA 9 - RRC com nível de utilização 99,8%

Caso	Lead time (em minutos) de acordo com a posição do RRC					
		ET1	ET2	ET3	ET4	ET5
Melhoria no tempo médio de setup	50%	103005	147208	159289	162734	164238
	10%	255401	420272	465929	478736	482948
Melhoria na variabilidade do tempo de processamento	50%	307016	728253	843164	875250	886759
	10%	507467	870759	969754	996913	1004890
Melhoria no tempo médio de reparo	50%	46595	49782	50712	51195	52171
	10%	81485	113692	123264	126259	127700
Melhoria no tempo médio entre falhas	50%	48599	55711	57757	58716	60451
	10%	83257	117555	127671	130802	132265
Melhoria na taxa média de defeitos	50%	54843	62280	64336	65008	65601
	10%	107169	157191	171660	176008	177868
Melhoria na variabilidade do tempo entre as chegadas de ordens	50%	560380	582244	588236	590081	591288
	10%	566148	841578	890814	899634	901282

Gráfico 1 - RRC com nível de utilização 99,8%

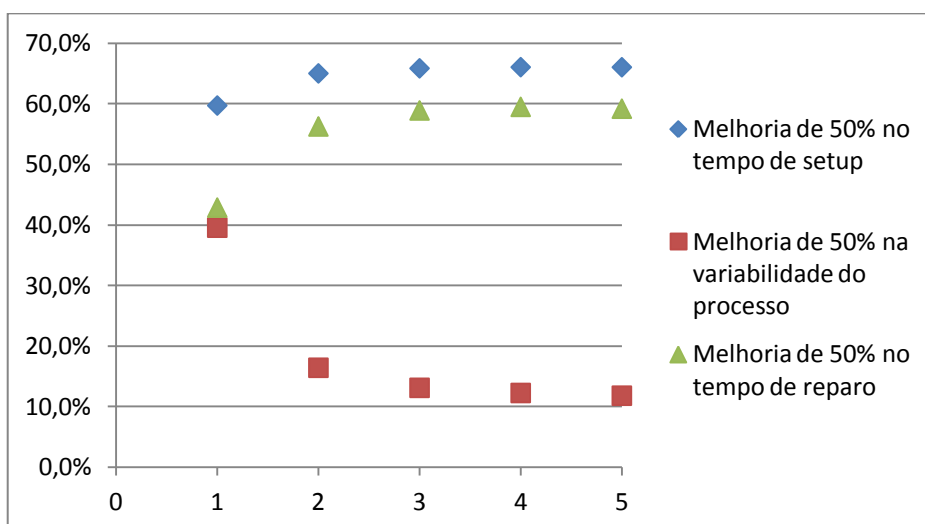


Gráfico 2 - RRC com nível de utilização 99,8%

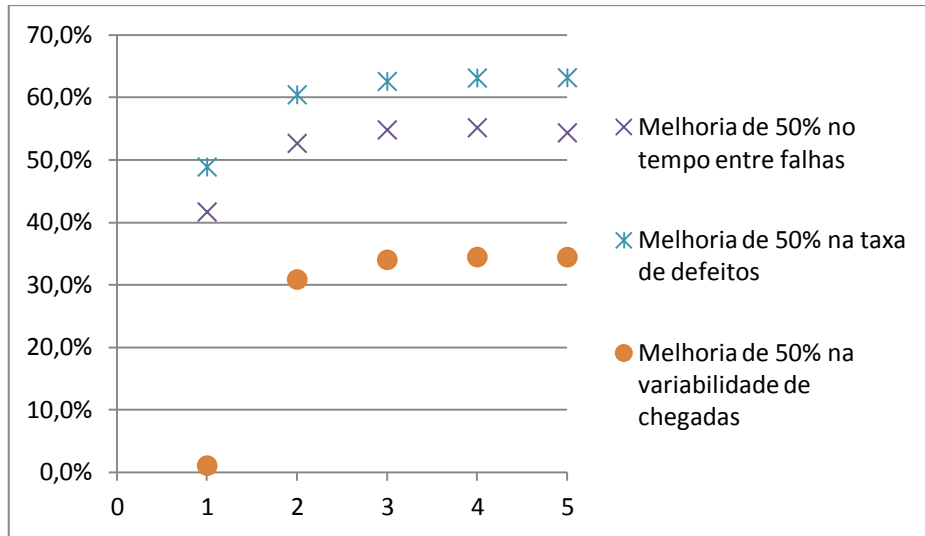


TABELA 10 - RRC com nível de utilização 95,5%

Caso	Lead time (em minutos) de acordo com a posição do RRC					
	50%	ET1	ET2	ET3	ET4	ET5
Melhoria no tempo médio de setup	50%	47554	55436	57993	58932	59619
	10%	50713	61446	64966	66254	67130
Melhoria na variabilidade do tempo de processamento	50%	39517	51173	55098	56986	59574
	10%	45585	55592	58829	59994	60771
Melhoria no tempo médio de reparo	50%	36230	37674	38196	38554	39264
	10%	41851	48899	51350	52321	53042
Melhoria no tempo médio entre falhas	50%	36446	39308	40329	40994	42260
	10%	41017	48069	50506	51463	52170
Melhoria na taxa média de defeitos	50%	40267	43203	44169	44567	44971
	10%	46010	54444	57310	58411	59205
Melhoria na variabilidade do tempo entre as chegadas de ordens	50%	51602	48661	47798	47762	48499
	10%	45992	53816	55458	55816	55953

Gráfico 3 - RRC com nível de utilização 95,5%

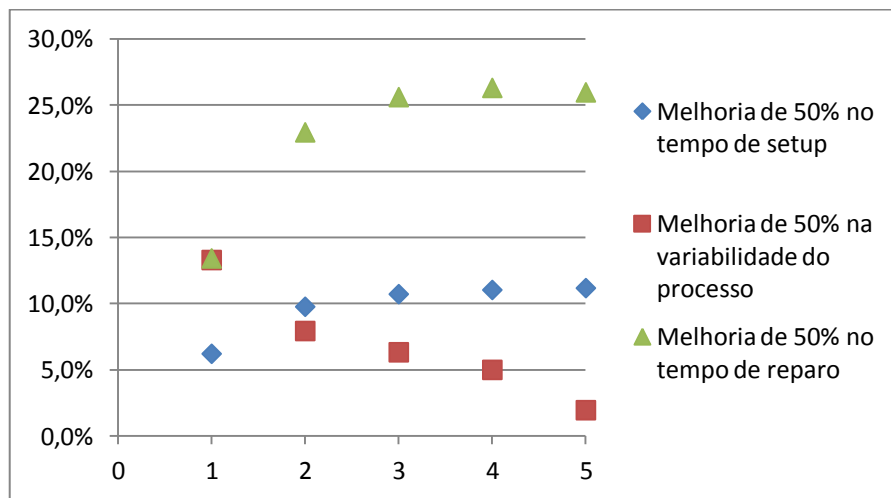


Gráfico 4 - RRC com nível de utilização 95,5%

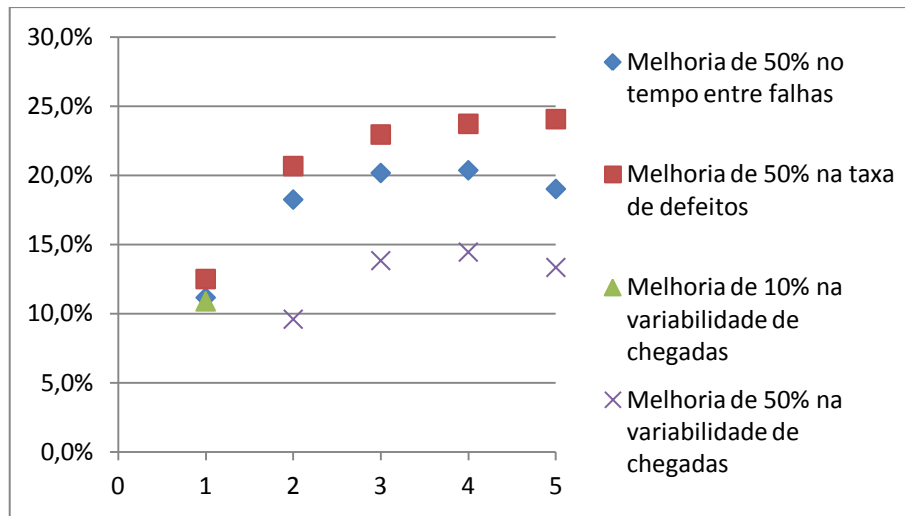


TABELA 11 - RRC com nível de utilização 90,5%

Caso	Lead time (em minutos) de acordo com a posição do RRC					
		ET1	ET2	ET3	ET4	ET5
Melhoria no tempo médio de setup	50%	29899	32445	33509	34035	34489
	10%	30413	33548	34870	35525	36081
Melhoria na variabilidade do tempo de processamento	50%	24844	28184	29723	30825	32469
	10%	26887	29709	30886	31463	31950
Melhoria no tempo médio de reparo	50%	25370	26087	26436	26724	27209
	10%	26880	29295	30358	30912	31396
Melhoria no tempo médio entre falhas	50%	25137	26395	27006	27510	28356
	10%	26186	28568	29611	30152	30624
Melhoria na taxa média de defeitos	50%	27573	28828	29362	29650	29945
	10%	28885	31620	32804	33409	33932
Melhoria na variabilidade do tempo entre as chegadas de ordens	50%	30591	28175	27319	27262	27954
	10%	26425	28732	29344	29512	29586

Gráfico 5 - RRC com nível de utilização 90,5%

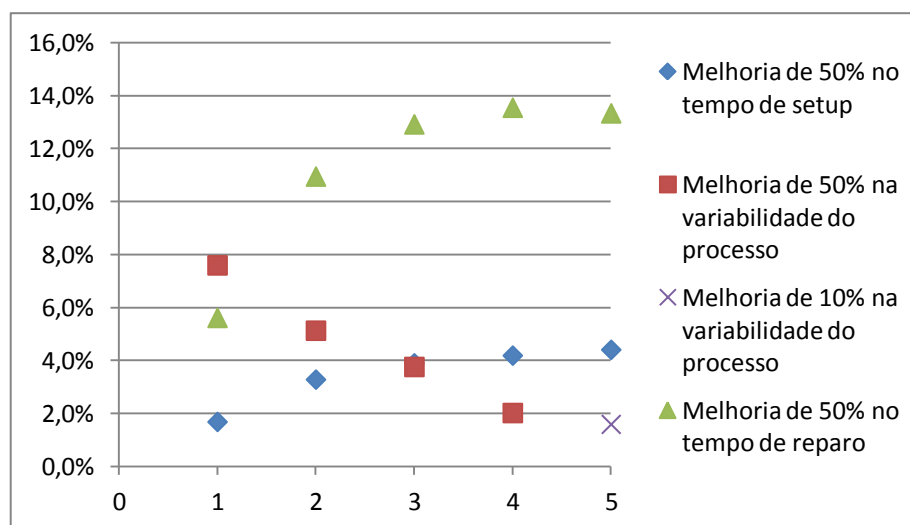
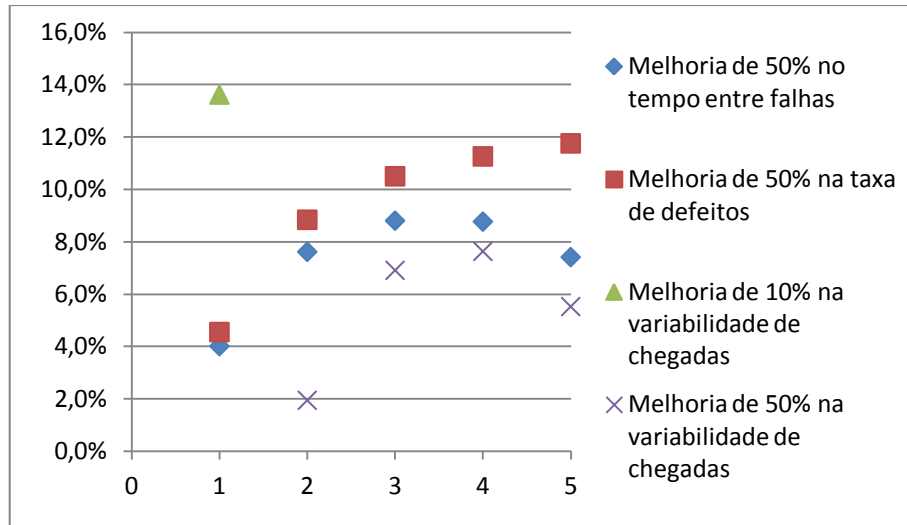


Gráfico 6 - RRC com nível de utilização 90,5%



Por meio da análise das Tabelas 9, 10 e 11 e dos Gráficos 1, 2 e 3 verificou-se que:

- i. Em todas as situações testadas, a opção de investir em 50% no recurso RRC foi melhor do que investir em 10% em todas as estações para os seguintes programas de melhoria: tempo médio de *setup*, tempo médio de reparo, tempo médio entre falhas e taxa média de defeitos. Já para os programas relativos à melhoria na variabilidade, tal resultado não ocorre em todas as estações de trabalho. Para o programa de melhoria na variabilidade no tempo de processamento, o único caso em que investir em 10% em todas as estações superou investir em 50% no recurso RRC foi quando o mesmo tinha uma utilização de 90,5% e se encontrava na estação 5. Com relação ao programa melhoria na variabilidade do tempo entre as chegadas de ordens, constatou-se que na presença de um RRC muito utilizado (99,8%) investir em 50% no mesmo é a melhor opção. Já na presença de um RRC com 95,5% e 90,5% de utilização investir em 50% no mesmo é melhor quando este não se encontra na primeira estação de trabalho, pois nesse caso o investimento em 10% em todas as estações obtém melhor resultado; Esses resultados mostram claramente a relação entre nível de utilização do gargalo, as opções de alocação testadas e os programas de melhoria na variabilidade: conforme o gargalo se torna menos utilizado, começa a haver uma tendência a reduzir-se o efeito dos programas de grandes

melhorias no gargalo. Isso pode ser visto pela magnitude do gap para as três opções de nível de utilização do gargalo testadas. Para 99,8%, o gap chega a 66% em alguns casos, sendo em média de 46,1%. Já para 90,5%, esse gap é no máximo 13,6%, em média 7,1%. Isso começa a se fazer sentir inicialmente nos programas de melhoria na variabilidade, uma vez que melhorar variabilidade não tem efeito direto na utilização (HOPP; SPEARMAN, 2001).

- ii. Para os 3 níveis de utilização do RRC testados, conforme pode ser visto nos dados das abelas 9, 10 e 11, para os programas de melhoria no tempo médio de *setup*, melhoria na variabilidade no tempo de processamento, melhoria no tempo médio de reparo, melhoria no tempo médio entre falhas e melhoria na taxa média de defeitos, à medida que o RRC se encontra mais para o final da linha o *lead time* aumenta. Já relativo ao programa de melhoria na variabilidade de chegadas de ordens isso só não foi válido para o RRC com utilizações de 95,5% e 90,5 e opção de investir em 50% nesta variável. Para esse caso, verificou-se que o *lead time* diminui em direção ao final da linha até a estação 4, voltando a crescer na estação 5. É importante destacar que não existe um consenso na literatura, a respeito da melhor localização do RRC, bem como a forma de alocação de capacidade protetiva, que de acordo com Blackstone Jr. e Cox (2002) pode ser entendida com a capacidade necessária nos recursos não RRCs para manter o WIP nas estações adjacentes ao RRC de modo a dar suporte a utilização total do RRC. A respeito da posição do RRC, alguns autores como, por exemplo, Kadiapasaoglu et al. (2000) defendem que a localização do RRC próxima ao começo do processo melhora o desempenho do sistema. Em contrapartida, Caridi et al. (2006) afirmam que quando a variabilidade no sistema é alta é melhor colocar o RRC no começo da linha, no entanto, quando a disponibilidade (que pode ser definida de acordo com Hopp e Spearman (2001) como a porcentagem de tempo que a máquina está disponível para uso, mais especificamente a razão entre o tempo médio entre falhas (mf) e a soma do mf com o tempo médio de reparo (mr)) é baixa, os autores sugerem colocar o RRC no

final da linha. Há ainda autores como, por exemplo, Betterton e Cox (2008) que por meio de uma simulação em um ambiente *flow-shop* com quatro estações de trabalho obtiveram como resultados que não existe uma diferença significativa no desempenho do processo de acordo com a localização do RRC. A intenção do presente trabalho não é apoiar uma ou outra corrente, entretanto os resultados foram compatíveis com os trabalhos de Kadipasaoglu et. al (2000) e Caridi et al. (2006) que afirmam que a presença do RRC no início da linha é melhor e os primeiros apontam como causa para essa constatação o fato de que quando o RRC está na primeira estação de trabalho, há menos variabilidade em estações a montante que possa fazer com que falte peças no RRC (*starvation*). À medida que o RRC se move para o final da linha, a probabilidade de faltar peças para serem processadas no RRC aumenta e conseqüentemente o *lead time* cresce;

Os resultados apresentados no cenário 1 são relativos a uma situação na qual o tempo de processamento no gargalo é 15% superior ao tempo de processamento das outras estações. Para verificar como esses resultados se alteram quando essa diferença é menor, na próxima seção é apresentado o cenário 2.

4.2.2 Cenário 2: Recurso restrição de capacidade com tempo de processamento 10% superior as demais estações de trabalho

Os valores dos *lead times* em minutos, para cada posição do RRC e nível de utilização, são apresentados nas tabelas 12, 13 e 14. Além disso, os gráficos 4, 5 e 6 mostram os gaps para este cenário.

TABELA 12 - RRC com nível de utilização 99,8%

Caso	Lead time (em minutos) de acordo com a posição do RRC					
	ET1	ET2	ET3	ET4	ET5	
Sem melhoria	604340	1045880	1129000	1144790	1148490	
Melhoria no tempo médio de setup	50%	125948	170123	178456	180130	181006
	10%	277466	448882	482463	488454	440420
Melhoria na variabilidade do tempo de processamento	50%	328479	770037	853289	869769	877183
	10%	527380	908061	979693	993335	996535
Melhoria no tempo médio de reparo	50%	68907	70170	70446	70705	71850
	10%	98698	130865	137785	139391	140317
Melhoria no tempo médio entre falhas	50%	70618	75886	76955	77563	79840
	10%	100225	134610	141923	143594	144519
Melhoria na taxa média de defeitos	50%	77644	83259	84327	84589	84965
	10%	126547	177241	187707	189995	191111
Melhoria na variabilidade do tempo entre as chegadas de ordens	50%	583320	603920	607821	608698	609626
	10%	585067	874236	909922	914380	915051

Gráfico 7 - RRC com nível de utilização 99,8%

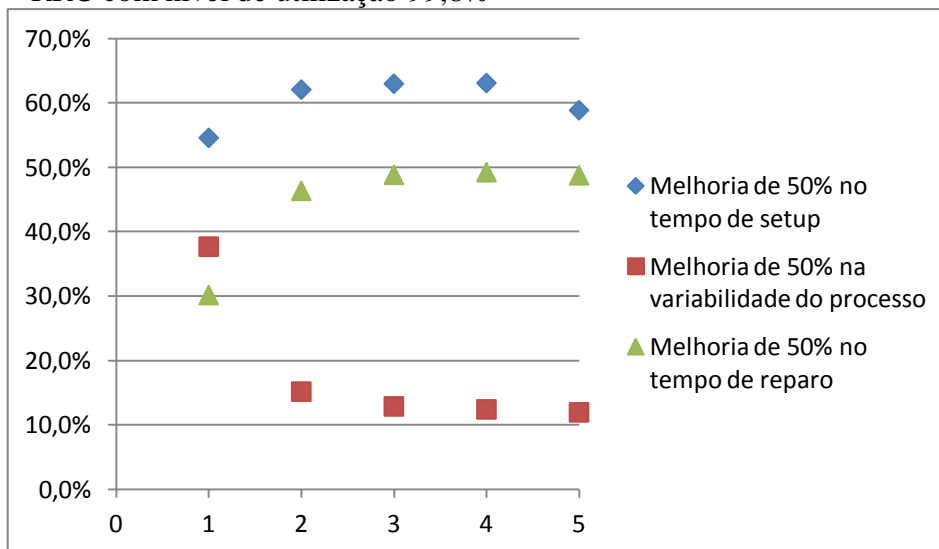


Gráfico 8 - RRC com nível de utilização 99,8%

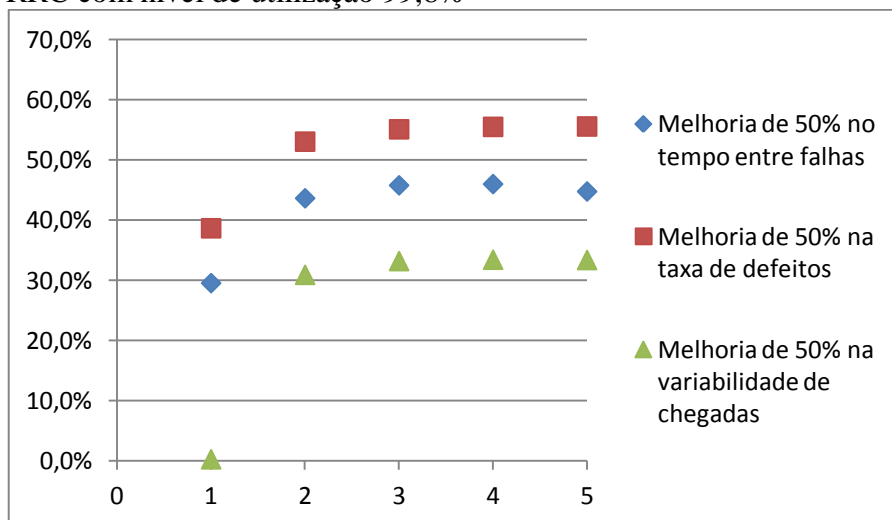


TABELA 13 - RRC com nível de utilização 95,5%

Caso	Lead time (em minutos) de acordo com a posição do RRC					
	ET1	ET2	ET3	ET4	ET5	
Sem melhoria	64132	75143	77944	78767	79438	
Melhoria no tempo médio de setup	50%	59292	66439	68261	68807	69293
	10%	62098	72242	74870	75659	76316
Melhoria na variabilidade do tempo de processamento	50%	50507	61566	64511	65939	69017
	10%	55772	65267	67684	68393	68974
Melhoria no tempo médio de reparo	50%	47655	48208	48392	48611	49357
	10%	51158	57677	59504	60112	60659
Melhoria no tempo médio entre falhas	50%	47727	49700	50284	50773	52258
	10%	50150	56686	58502	59111	59636
Melhoria na taxa média de defeitos	50%	51935	53994	54525	54710	54962
	10%	56314	64176	66314	66999	67599
Melhoria na variabilidade do tempo entre as chegadas de ordens	50%	63336	59027	57997	57955	58807
	10%	55652	63086	64316	64530	64633

Gráfico 9 - RRC com nível de utilização 95,5%

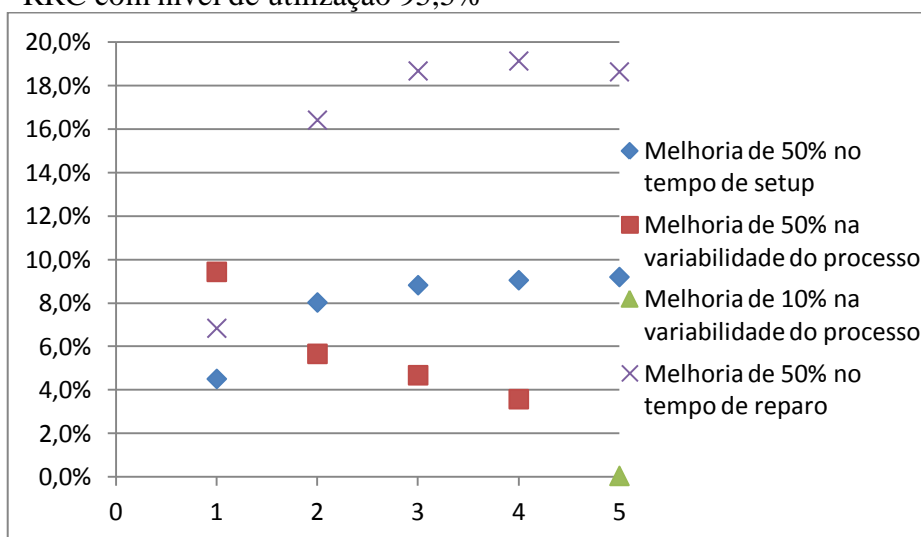


Gráfico 10 - RRC com nível de utilização 95,5%

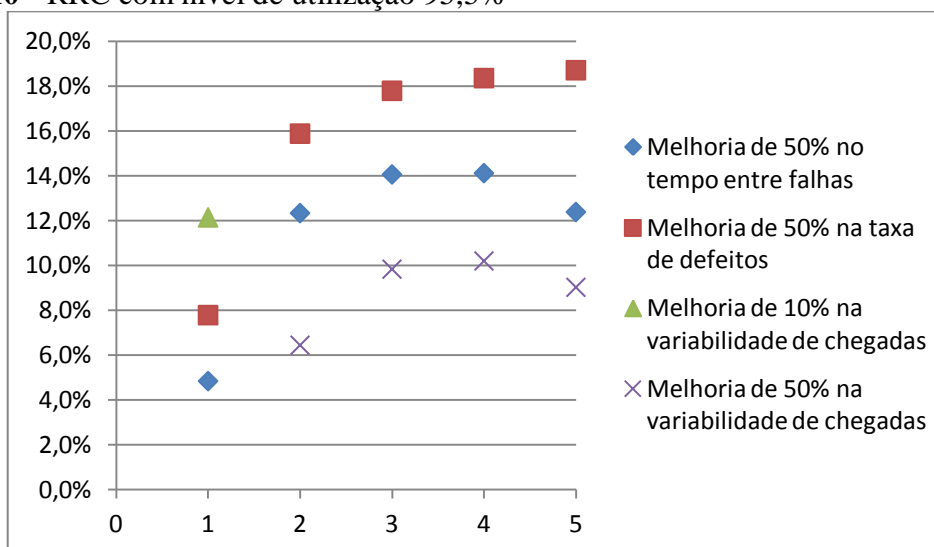


TABELA 14 - RRC com nível de utilização 90,5%

Caso	Lead time (em minutos) de acordo com a posição do RRC					
		ET1	ET2	ET3	ET4	ET5
Sem melhoria		39960	42688	43586	43958	44342
Melhoria no tempo médio de setup	50%	38937	40916	41567	41835	42108
	10%	39245	41851	42722	43088	43466
Melhoria na variabilidade do tempo de processamento	50%	33322	36102	37163	38045	40024
	10%	34732	37085	37860	38181	38514
Melhoria no tempo médio de reparo	50%	34174	34298	34380	34538	35002
	10%	34377	36350	37049	37364	37692
Melhoria no tempo médio entre falhas	50%	33832	34488	34783	35144	36097
	10%	33515	35464	36150	36457	36777
Melhoria na taxa média de defeitos	50%	36558	37220	37442	37546	37683
	10%	37070	39320	40099	40440	40796
Melhoria na variabilidade do tempo entre as chegadas de ordens	50%	39621	36128	35104	35060	35934
	10%	33831	35760	36165	36257	36307

Gráfico 11- RRC com nível de utilização 90,5%

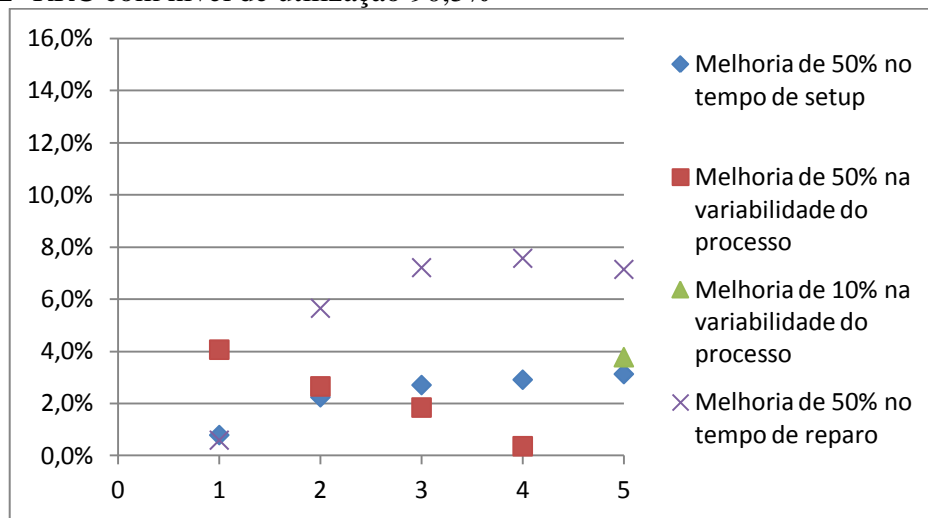
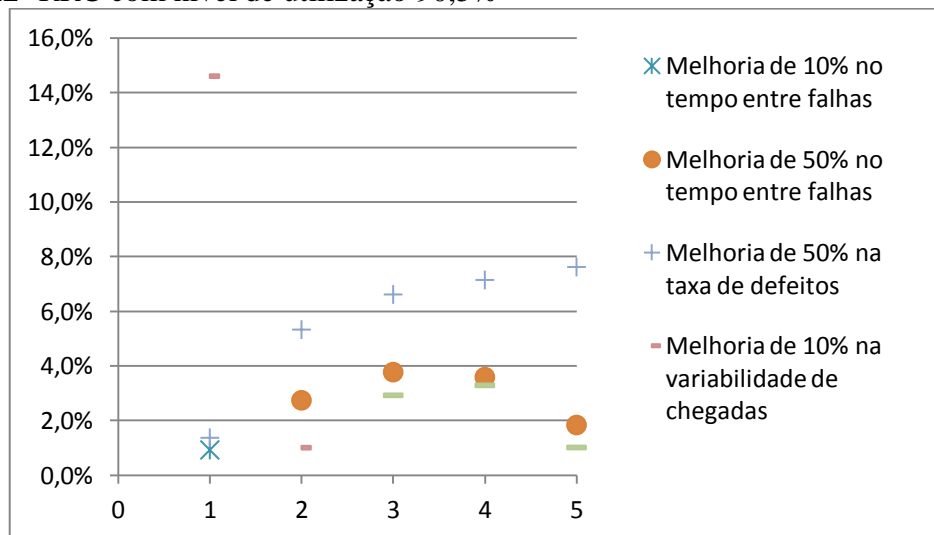


Gráfico 12- RRC com nível de utilização 90,5%



Por meio da análise das Tabelas 12, 13 e 14, verificou-se que ao diminuir a diferença entre o tempo de processamento do recurso RRC e os não RRCs, as principais diferenças encontradas com relação à análise anterior foram:

- i. Assim como no cenário 1, 50% de melhoria no gargalo continua superando 10% em todas as estações na grande maioria dos casos (87 em 90 casos possíveis no cenário 1 e 84 em 90 casos possíveis no presente cenário). O gap médio diminuiu, como era esperado, no caso do RRC com nível de utilização de 99,8% o gap máximo foi de 63,1% com uma média de 40,5% e para o caso do RRC com utilização de 90,5% o máximo foi de 14,6% e o médio de 3,9%. Foi observado que os mesmos 3 casos onde a opção de melhorar em 10% em todas as

estações foi superior se mantiveram e a eles se somaram mais 3, a saber: RRC com utilização de 95,5%, na estação 5 para o programa de melhoria na variabilidade do processo; RRC com utilização de 90,5%, nas estações 1 e 2, respectivamente para os programas de melhoria no tempo médio entre falhas e na variabilidade média entre chegadas de ordens. Esses resultados novamente confirmam a relação entre nível de utilização do gargalo, as opções de alocação testadas e os programas de melhoria na variabilidade, conforme explicado na constatação i da seção 4.2.1.

A partir das constatações do presente cenário, surge o cenário 3, o qual avalia como a diminuição da diferença entre a utilização do RRC e do não RRC, (por meio da redução gradual da diferença no tempo natural de processamento), afeta os resultados de cada opção de melhoria com o objetivo de identificar aproximadamente o ponto em que investir em 10% em todas as estações se torna melhor alternativa em relação a investir em 50% apenas no recurso RRC.

4.3 CENÁRIO 3: DETERMINAÇÃO DO PONTO EM QUE INVESTIR EM 10% EM TODAS AS ESTAÇÕES DE TRABALHO TORNA-SE MELHOR DO QUE INVESTIR EM 50% NO RECURSO RRC

De acordo com os 2 cenários analisados na seção 4.2, para a grande maioria das simulações realizadas, investir em 50% no recurso RRC foi melhor do que investir em 10% em todas as estações quando a diferença no tempo natural de processamento do RRC e das outras estações fosse de até 10%. Na mesma seção foi constatado que à medida que essa diferença diminuía apareciam mais situações em que investir em 10% em todas as estações torna-se melhor do que investir em 50% no RRC. O objetivo da presente seção é identificar aproximadamente o ponto em que investir em 10% em todas as estações de trabalho passa a superar o investimento em 50% apenas no RRC. Este trabalho não visa encontrar o ponto exato para todos os programas de melhoria, mas sim encontrar um que de maneira geral seria uma aproximação razoável para os mesmos. Portanto, com o objetivo de encontrar esse ponto, foram realizadas simulações com o RRC com os mesmos 3 níveis de utilização utilizado nos cenários 1 e 2: 90,5%, 95,5% e 99,8%.

Para encontrar aproximadamente o ponto em que investir em 10% torna-se a melhor opção, reduziu-se gradativamente a diferença no tempo natural de processamento

entre o recurso RRC e não RRC. As diferenças percentuais encontradas foram de 5%, 3% e 1% respectivamente para os cenários 3, 4 e 5. As Tabelas 15, 16 e 17 apresentam os valores dos *lead times* em minutos para cada posição do RRC, nível de utilização e diferença no tempo natural de processamento entre os recursos RRC e não RRC.

TABELA 15 - RRC com nível de utilização 90,5% e diferença de 5% no tempo natural de processamento

Caso	Lead time (em minutos) de acordo com a posição do RRC					
		ET1	ET2	ET3	ET4	ET5
Melhoria no tempo médio de setup	50%	49134	50343	49850	50769	50890
	10%	48261	50052	50543	50725	50965
Melhoria na variabilidade do tempo de processamento	50%	42901	44904	45573	46325	48760
	10%	43582	45277	45727	45888	46102
Melhoria no tempo médio de reparo	50%	44113	43499	43370	43449	43918
	10%	42488	43878	44283	44444	44668
Melhoria no tempo médio entre falhas	50%	43652	43543	43583	43861	44974
	10%	41473	42848	43246	43402	43622
Melhoria na taxa média de defeitos	50%	46698	46601	46576	46565	46558
	10%	46041	47636	48088	48262	48497
Melhoria na variabilidade do tempo entre as chegadas de ordens	50%	46637	45104	43957	43932	44982
	10%	42231	43621	43857	43902	43952

TABELA 16 - RRC com nível de utilização 95,5% e diferença de 3% no tempo natural de processamento

Caso	Lead time (em minutos) de acordo com a posição do RRC					
		ET1	ET2	ET3	ET4	ET5
Melhoria no tempo médio de setup	50%	107338	110185	110569	110627	110686
	10%	107727	113942	114812	114974	115290
Melhoria na variabilidade do tempo de processamento	50%	95529	102404	103430	104321	110042
	10%	97468	103383	104183	104327	104610
Melhoria no tempo médio de reparo	50%	94440	90851	90386	90452	91419
	10%	84853	88536	89140	89275	89523
Melhoria no tempo médio entre falhas	50%	93921	91599	91332	91631	94167
	10%	83542	87263	87863	87995	88240
Melhoria na taxa média de defeitos	50%	99701	97470	97165	97094	96859
	10%	94994	99566	100273	100421	100699
Melhoria na variabilidade do tempo entre as chegadas de ordens	50%	111366	101379	100057	100037	101209
	10%	95373	100010	100420	100461	100516

TABELA 17 - RRC com nível de utilização 99,8% e diferença de 1% no tempo natural de processamento

Caso	Lead time (em minutos) de acordo com a posição do RRC					
		ET1	ET2	ET3	ET4	ET5
Melhoria no tempo médio de setup	50%	686663	670474	670116	670082	669901
	10%	723967	859117	862747	862861	863454
Melhoria na variabilidade do tempo de processamento	50%	852667	1269340	1278470	1279570	1320510
	10%	1013970	1373070	1380930	1381150	1381810
Melhoria no tempo médio de reparo	50%	614394	55930	558742	558847	564783
	10%	285683	299835	300590	300645	300916
Melhoria no tempo médio entre falhas	50%	608962	555540	554378	554738	572281
	10%	293536	309336	310135	310189	310467
Melhoria na taxa média de defeitos	50%	634988	581756	580590	580496	577362
	10%	379922	406392	407539	407602	407959
Melhoria na variabilidade do tempo entre as chegadas de ordens	50%	1144070	1100210	1099250	1099250	1100220
	10%	1049340	1322990	1326880	1326920	1327090

Para o RRC com utilização de 90,5%, notou-se que ao chegar à uma diferença de 5% entre o tempo de processamento do RRC e dos não RRCs, o número de casos onde investir em 10% em todas as estações foi superior a investir em 50% apenas no recurso RRC, totalizando 17 em 30 casos possíveis. Como a intenção não era determinar de maneira ótima o ponto em que investir em 10% em todas as estações passa a ser melhor do que investir em 50% no RRC, essa diferença de 5% é uma boa aproximação. Logo, para esse primeiro nível de utilização, investir em 10% em todas as estações foi melhor que investir em 50% no recurso RRC quando a diferença no tempo natural de processamento for de 5% ou menos. Para uma diferença superior a 5% investir em 50% continuou sendo a melhor opção para a maioria dos casos.

Para o RRC com utilização de 95,5%, adotou-se como diferença inicial no tempo de processamento aquela encontrada para o RRC com utilização de 90,5%, ou seja, de 5%. Foi constatado então que investir em 50% no recurso RRC levou ampla vantagem sobre investir em 10% em todas as estações, totalizando 25 casos em 30 possíveis. Devido a isso, reduziu-se a diferença no tempo natural de processamento entre os recursos RRC e não RRC para 3%. Constatou-se que investir em 50% no recurso RRC ou investir em 10% em todas as estações foram superiores em 15 casos. Novamente, como a intenção foi determinar um ponto aproximado, concluiu-se que para esse nível de utilização do RRC, investir em 10% em todas as estações foi melhor do que investir em 50% no recurso RRC quando a diferença no tempo natural de processamento for de 3% ou menos. Para uma diferença superior a 3% investir em 50% foi a melhor opção para a maioria dos casos.

Para o RRC com utilização de 99,8%5, foi utilizada como ponto de partida uma diferença no tempo de processamento de 3%. Foi constatado então que investir em 50% no RRC levou ampla vantagem sobre investir em 10% em todas as estações, totalizando 26 casos em 30 possíveis. Reduziu-se, então a diferença no tempo natural de processamento entre o RRC e os não RRCs para 1% e foi observado que investir em 10% em todas as estações foi superior a investir em 50% no recurso RRC, totalizando 17 casos em 30 possíveis. Novamente, como a intenção foi determinar um ponto aproximado, concluiu-se que para esse nível de utilização do RRC, investir em 10% em todas as estações foi melhor que investir em 50% no recurso RRC quando a diferença no tempo natural de processamento for de 1% ou menos. Para uma diferença superior a 1% investir em 50% é a melhor opção para a maioria dos casos.

A partir do observado nos cenários 1, 2 e 3, pode-se notar que para a suposição de que o investimento em termos financeiros para realizar uma melhoria de 50% no RRC é equivalente ao investimento para realizar melhorias de 10% em 5 diferentes estações de trabalho, o investimento em 50% no RRC é a melhor alternativa. Essa situação só se altera se a diferença no tempo de processamento dos recursos RRC e não RRCs for mínima. Portanto, os resultados dos cenários mostrados até agora mostram que se o RRC é preponderante e fácil de ser melhorado, a alternativa de alocação de programas de melhoria concentrada no RRC deve ser escolhida. Entretanto, em algumas situações pode ser difícil realizar uma grande melhoria no RRC. Apesar da suposição de investimento equivalente ter sido adotada neste trabalho, é sabido que a mesma não é verdadeira, conforme explicado por meio de um exemplo no início da seção 4.1. Tendo isso em mente, construiu-se o cenário 4, no qual a suposição adotada foi de que o investimento financeiro para obter uma melhoria de 10% em 5 diferentes estações de trabalho é equivalente ao investimento necessário para obter uma melhoria de 25% no RRC. Buscando investigar, dessa maneira, se a situação se inverte, ou seja, se o investimento em 10% em todas as estações passa a ser a melhor alternativa.

4.4 COMPARAÇÃO ENTRE MELHORAR 25% NO RECURSO RESTRICÇÃO DE CAPACIDADE VERSUS MELHORAR 10% EM TODAS AS ESTAÇÕES

Para investigar qual é o efeito que a mudança na suposição de investimento equivalente provoca. Logo, os cenários desta seção visam estudar se para uma consideração de que o investimento financeiro para obter uma melhoria de 10% em 5 diferentes estações de trabalho é equivalente ao investimento necessário para obter uma melhoria de 25% no RRC, o investimento em 10% em todas as estações passa a ser a melhor alternativa. Para isso dois novos cenários foram criados, sendo que para isso procedeu-se de maneira análoga aos cenários 1 e 2

- a. Cenário 4: O tempo de processamento do recurso RRC é 15% maior do que o tempo de processamento dos recursos não RRC;
- b. Cenário 5: O tempo de processamento do recurso RRC é 10% maior do que o tempo de processamento dos recursos não RRC.

Nos dois cenários, foram testados diferentes níveis de utilização do RRC, a saber: 99,8%, 95,5% e 90,5%. Além disso, as simulações foram realizadas com o RRC

estando nas 5 estações, com a intenção de verificar se há diferença no desempenho dos programas de melhoria de acordo com a posição do RRC.

4.4.1 Cenário 4: Recurso restrição de capacidade com tempo de processamento 15% superior as demais estações de trabalho

Os valores dos *lead times* em minutos, para cada posição do RRC e nível de utilização, são apresentados nas tabelas 18, 19 e 20. Nos Gráficos de 13 a 18 mostram os gaps para este cenário.

TABELA 18 - RRC com nível de utilização 99,8%

Caso	Lead time (em minutos) de acordo com a posição do RRC					
		ET1	ET2	ET3	ET4	ET5
Melhoria no tempo médio de setup	25%	153376	237225	260109	266514	268880
	10%	255401	420272	465929	478736	482948
Melhoria na variabilidade do tempo de processamento	25%	421358	842546	957384	989220	999801
	10%	507467	870759	969754	996913	1004890
Melhoria no tempo médio de reparo	25%	57277	68336	71410	72472	73587
	10%	81485	113692	123264	126259	127700
Melhoria no tempo médio entre falhas	25%	59732	74729	78899	80348	81894
	10%	83257	117555	127671	130802	132265
Melhoria na taxa média de defeitos	25%	69887	88800	93992	95552	96513
	10%	107169	157191	171660	176008	177868
Melhoria na variabilidade do tempo entre as chegadas de ordens	25%	566076	696133	731590	741467	744861
	10%	566148	841578	890814	899634	901282

Gráfico 13 - RRC com nível de utilização 99,8%

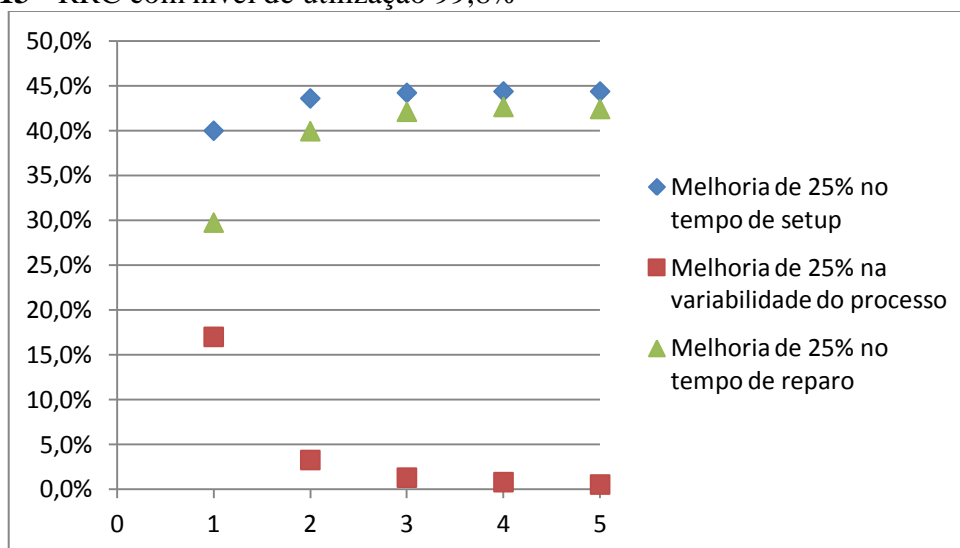


Gráfico 14 - RRC com nível de utilização 99,8%

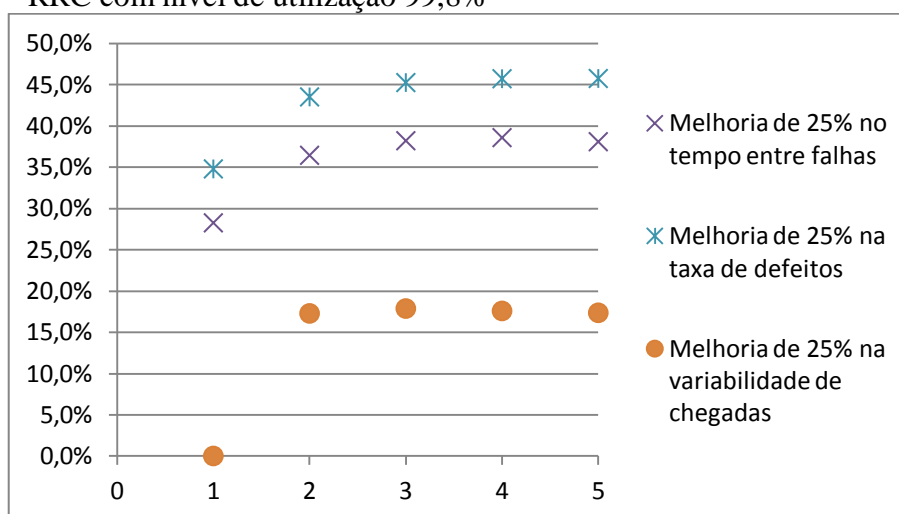


TABELA 19 - RRC com nível de utilização 95,5%

Caso	Lead time (em minutos) de acordo com a posição do RRC					
		ET1	ET2	ET3	ET4	ET5
Melhoria no tempo médio de setup	25%	48200	57751	60952	62151	62974
	10%	50713	61446	64966	66254	67130
Melhoria na variabilidade do tempo de processamento	25%	43482	55160	59159	60909	62785
	10%	45585	55592	58829	59994	60771
Melhoria no tempo médio de reparo	25%	38945	42968	44359	45007	45790
	10%	41851	48899	51350	52321	53042
Melhoria no tempo médio entre falhas	25%	38936	43816	45514	46338	47403
	10%	41017	48069	50506	51463	52170
Melhoria na taxa média de defeitos	25%	42498	48046	49920	50661	51276
	10%	46010	54444	57310	58411	59205
Melhoria na variabilidade do tempo entre as chegadas de ordens	25%	50361	51495	51942	52307	53088
	10%	45992	53816	55458	55816	55953

Gráfico 15 - RRC com nível de utilização 95,5%

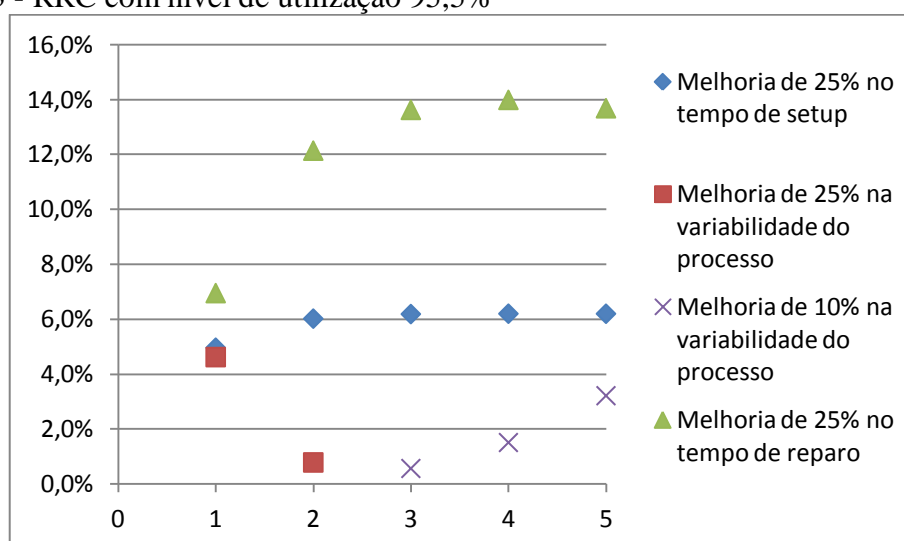


Gráfico 16 - RRC com nível de utilização 95,5%

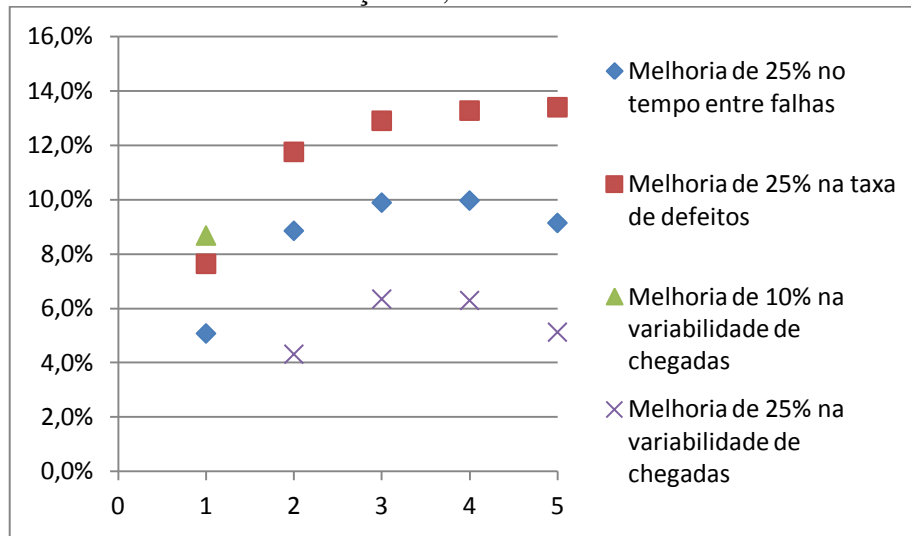


TABELA 20 - RRC com nível de utilização 90,5%

Caso	Lead time (em minutos) de acordo com a posição do RRC					
	ET1	ET2	ET3	ET4	ET5	
Melhoria no tempo médio de setup	25%	30377	33261	34465	35058	35571
	10%	30413	33548	34870	35525	36081
Melhoria na variabilidade do tempo de processamento	25%	27376	30687	32153	33076	34281
	10%	26887	29709	30886	31463	31950
Melhoria no tempo médio de reparo	25%	27301	28888	29585	30012	30564
	10%	26880	29295	30358	30912	31396
Melhoria no tempo médio entre falhas	25%	27007	28553	29677	30213	30946
	10%	26186	28568	29611	30152	30624
Melhoria na taxa média de defeitos	25%	28885	30895	31742	32179	32603
	10%	28885	31620	32804	33409	33932
Melhoria na variabilidade do tempo entre as chegadas de ordens	25%	30680	29805	29551	29692	30370
	10%	26425	28732	29344	29512	29586

Gráfico 17 - RRC com nível de utilização 90,5%

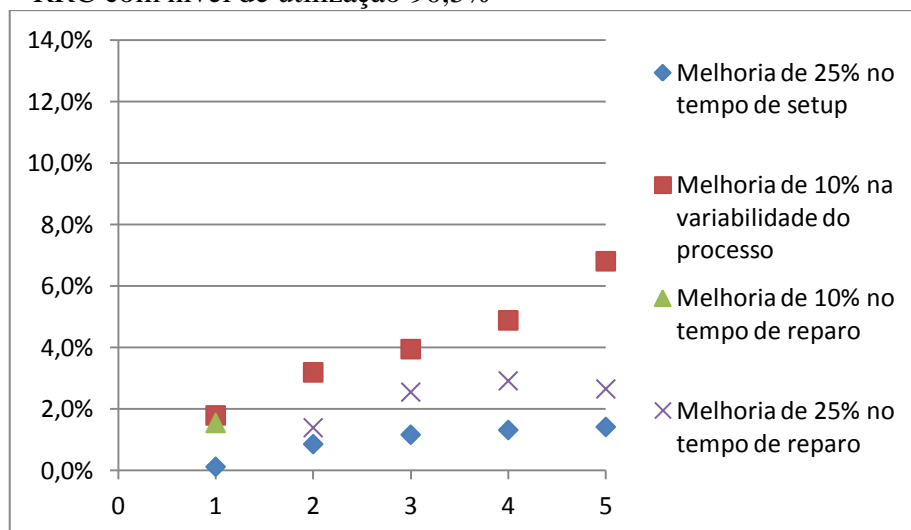
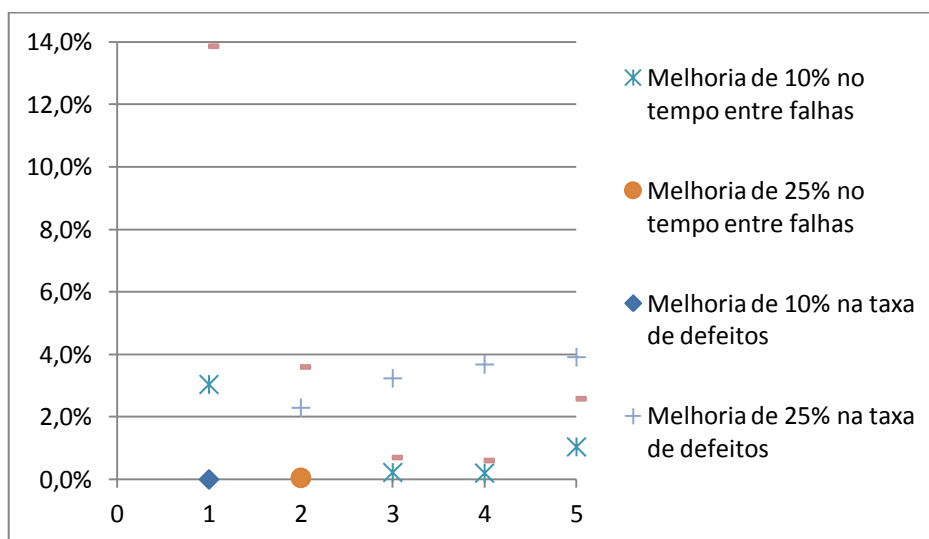


Gráfico 18 - RRC com nível de utilização 90,5%



Por meio da análise das Tabelas 18, 19 e 20 e dos Gráficos 13 a 18 verificou-se que as principais diferenças em relação aos cenários anteriores foram:

- i. O número de casos em que a alternativa de melhoria em 10% em todas as estações supera a alternativa de investimento concentrado no RRC passa de 3 casos (de um total de 90 possíveis), para o cenário 1, para 20 casos (de um total de 90 possíveis) no presente cenário. No entanto a alternativa de melhoria concentrada no RRC continua levando ampla vantagem, 70 casos em 90 possíveis.
- ii. Ao se analisar os resultados de acordo com o nível de utilização do gargalo foi observado que na presença de um RRC com utilização de 99,8% continua não havendo um único caso onde o investimento concentrado no RRC seja superado. À medida que o nível de utilização do RRC diminui surgem mais casos onde o investimento em 10% em todas as estações prevalece. Isso pode ser visto pela magnitude do gap entre as opções extremas de nível de utilização do RRC testadas. Para 99,8%, o gap que no cenário 1 chegou a 66% em alguns casos, sendo em média de 46,1%, passou para no máximo 45,7% e em média de 30%. Já para 90,5%, esse gap que no cenário 1 foi no máximo 13,6% e em média 7,1%, passou para no máximo 13,9% e em média 2,5%.

- iii. Relativo aos programas de melhoria observou-se que, por meio dos resultados do cenário 1, 2, 3 e 4:
- Alguns programas parecem ligados a alternativa de melhoria concentrada no RRC, pois na grande maioria dos casos, apresenta resultados favoráveis a esta alternativa. Entre eles, destacam-se o programa de melhoria no tempo médio de setup, tempo médio de reparo e na taxa média de defeitos.
 - Já outros programas parecem favorecer a melhoria em todas as estações de trabalho principalmente quando a utilização do RRC é de 90,5%. Entre estes programas destacam-se os relativos a melhoria na variabilidade no tempo médio entre chegadas de ordens e na variabilidade do processo. Isto parece reforçar um conceito fundamental de técnicas da Manufatura Enxuta, que visam a redução da variabilidade.

4.4.2 Cenário 5: Recurso restrição de capacidade com tempo de processamento 10% superior as demais estações de trabalho

Os valores dos *lead times* em minutos, para cada posição do RRC e nível de utilização, são apresentados nas Tabelas 21, 22 e 23. Nos Gráficos de 19 a 24 mostram os gaps para este cenário.

TABELA 21 - RRC com nível de utilização 99,8%

Caso	Lead time (em minutos) de acordo com a posição do RRC					
		ET1	ET2	ET3	ET4	ET5
Melhoria no tempo médio de setup	25%	176315	262257	278454	281625	282872
	10%	277466	448882	482463	488454	440420
Melhoria na variabilidade do tempo de processamento	25%	443421	884973	968170	984539	990231
	10%	527380	908061	979693	993335	996535
Melhoria no tempo médio de reparo	25%	79849	89223	91023	91557	92960
	10%	98698	130865	137785	139391	140317
Melhoria no tempo médio entre falhas	25%	82119	95601	98194	98981	100717
	10%	100225	134610	141923	143594	144519
Melhoria na taxa média de defeitos	25%	92754	110346	113675	114400	115057
	10%	126547	177241	187707	189995	191111
Melhoria na variabilidade do tempo entre as chegadas de ordens	25%	589015	723675	749042	753958	755638
	10%	585067	874236	909922	914380	915051

Gráfico 19 - RRC com nível de utilização 99,8%

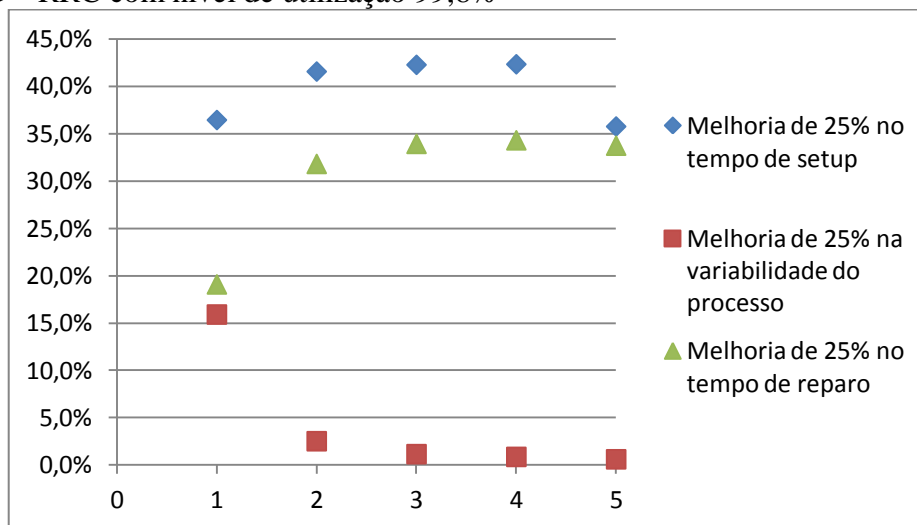


Gráfico 20 - RRC com nível de utilização 99,8%

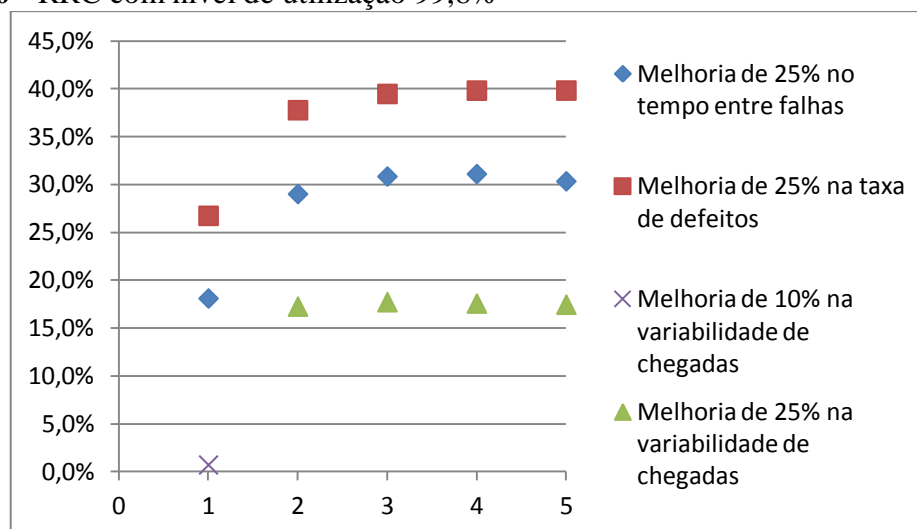


TABELA 22 - RRC com nível de utilização 95,5%

Caso	Lead time (em minutos) de acordo com a posição do RRC					
		ET1	ET2	ET3	ET4	ET5
Melhoria no tempo médio de setup	25%	61394	70213	72459	73217	73702
	10%	62098	72242	74870	75659	76316
Melhoria na variabilidade do tempo de processamento	25%	56185	60300	61491	61874	62298
	10%	55772	65267	67684	68393	68974
Melhoria no tempo médio de reparo	25%	51934	55003	55817	56185	56928
	10%	51158	57677	59504	60112	60659
Melhoria no tempo médio entre falhas	25%	51821	55771	56829	57347	58476
	10%	50150	56686	58502	59111	59636
Melhoria na taxa média de defeitos	25%	55652	60300	61491	61874	62298
	10%	56314	64176	66314	66999	67599
Melhoria na variabilidade do tempo entre as chegadas de ordens	25%	63552	63394	63402	63595	64398
	10%	55652	63086	64316	64530	64633

Gráfico 21 - RRC com nível de utilização 95,5%

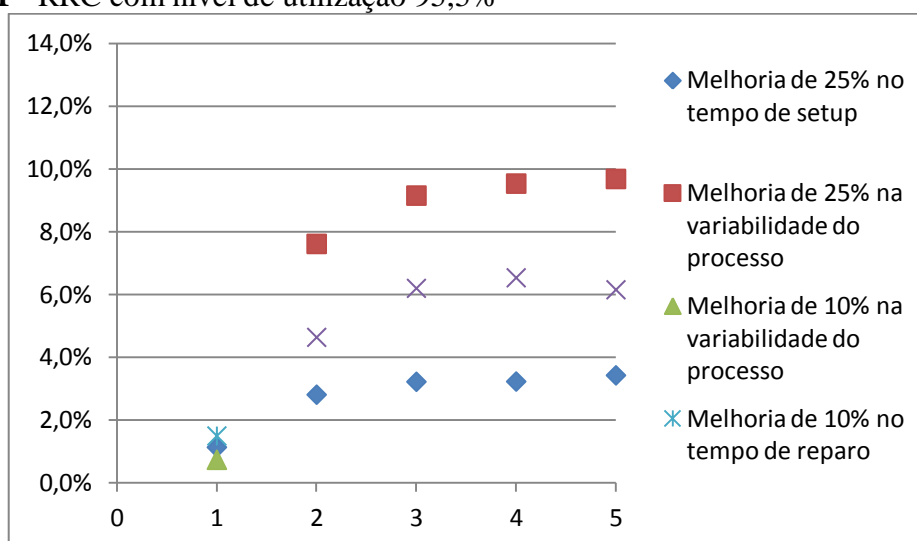


Gráfico 22 - RRC com nível de utilização 95,5%

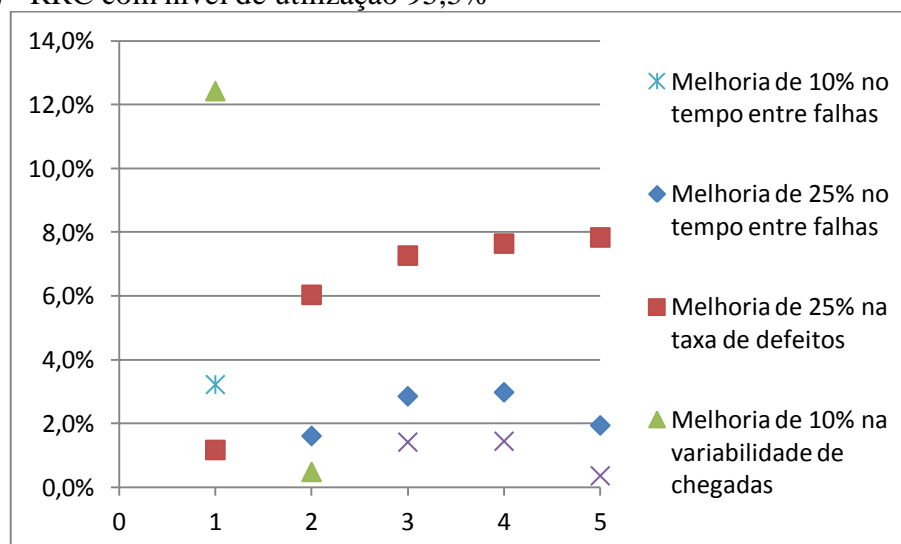


TABELA 23 - RRC com nível de utilização 90,5%

Caso	Lead time (em minutos) de acordo com a posição do RRC					
		ET1	ET2	ET3	ET4	ET5
Melhoria no tempo médio de setup	25%	39415	41743	42509	42826	43155
	10%	39245	41851	42722	43088	43466
Melhoria na variabilidade do tempo de processamento	25%	36088	38847	39840	40509	41823
	10%	34732	37085	37860	38181	38514
Melhoria no tempo médio de reparo	25%	36203	37196	37552	37789	38250
	10%	34377	36350	37049	37364	37692
Melhoria no tempo médio entre falhas	25%	35835	37094	37556	37898	38250
	10%	33515	35464	36150	36457	36777
Melhoria na taxa média de defeitos	25%	37897	39325	39799	40008	40254
	10%	37070	39320	40099	40440	40796
Melhoria na variabilidade do tempo entre as chegadas de ordens	25%	39713	37906	37402	37471	38212
	10%	33831	35760	36165	36257	36307

Gráfico 23 - RRC com nível de utilização 90,5%

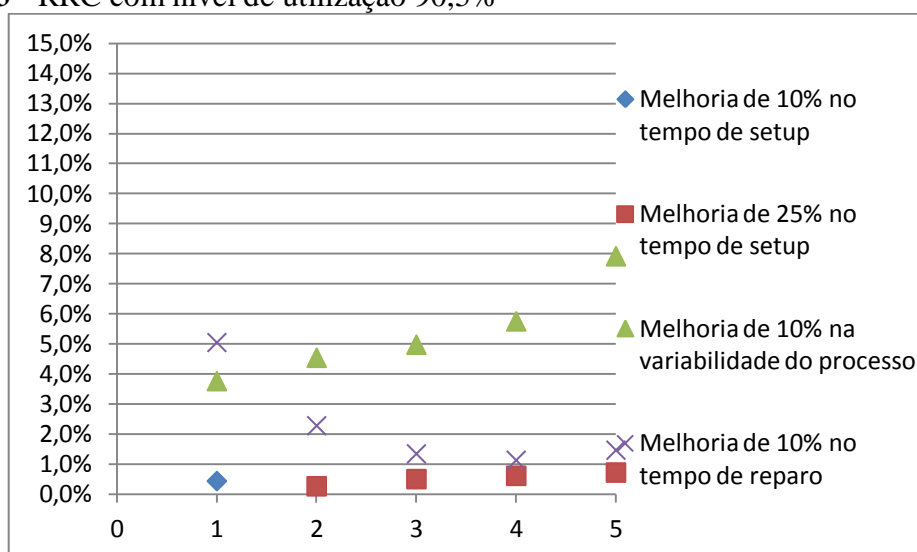
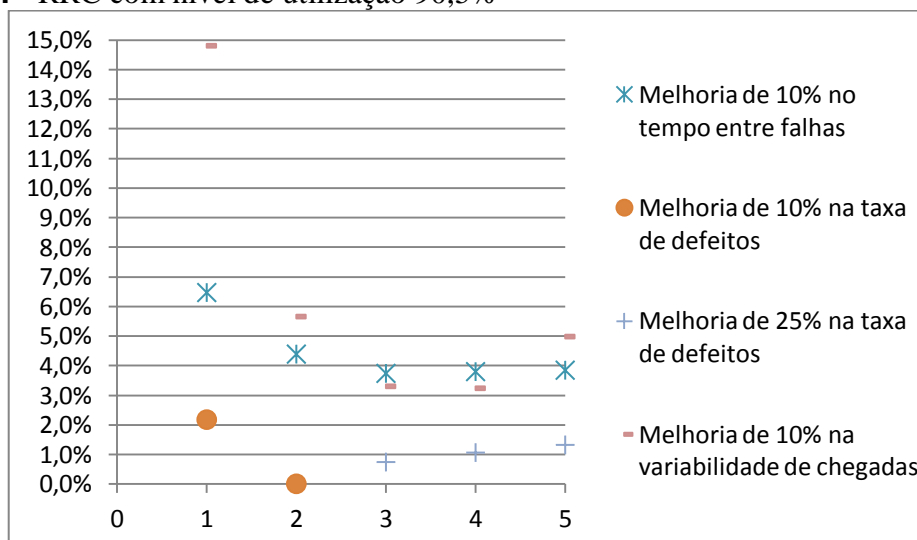


Gráfico 24 - RRC com nível de utilização 90,5%



Por meio da análise das Tabelas 21, 22 e 23 e dos Gráficos 19 a 24 verificou-se que as principais diferenças em relação aos cenários 2 foram:

- iv. O número de casos em que a alternativa de melhoria em 10% em todas as estações supera a alternativa de investimento concentrado no RRC passou de 6 casos (de um total de 90 possíveis), para o cenário 2, para 29 casos (de um total de 90 possíveis) no presente cenário. No entanto a alternativa de melhoria concentrada no RRC continua levando ampla vantagem, 61 casos em 90 possíveis.
- i. Adicionalmente, foi observado que na presença de um RRC com utilização de 99,8% o investimento concentrado no RRC continua prevalecendo, entretanto, surgiu um único caso, melhoria na

variabilidade do tempo entre as chegadas de ordens com o RRC na estação 1, onde o investimento concentrado no RRC foi superado. À medida que o nível de utilização do RRC diminui surgem mais casos onde o investimento em 10% em todas as estações prevalece. Isso pode ser visto pela magnitude do gap entre as opções extremas de nível de utilização do RRC testadas. Para 99,8%, o gap que no cenário 2 chegou a 63,1% em alguns casos, sendo em média de 40,5%, passou para no máximo 42,3% e em média de 25,5%. Já para 90,5%, esse gap que no cenário 2 foi no máximo 14,6% e em média 3,9%, passou para no máximo 14,8% e em média 3,3%.

A partir dos resultados encontrados no presente capítulo, constatou-se que o investimento no RRC leva larga vantagem sobre o investimento em 10% em todas as estações. Esse resultado é reforçado à medida que a utilização do RRC aumenta e a diferença entre a utilização do mesmo e dos não RRCs aumenta. Entretanto, em algumas situações, pode ser difícil, seja por restrições de custo ou alguma outra restrição, realizar uma grande melhoria no RRC. Na busca de uma alternativa para essa situação, foram construídos os cenário 6 e 7, nos quais é proposta uma abordagem híbrida de melhoria. Os resultados foram então comparados com os da melhoria em 10% em todas as estações, a fim de indicar a mais adequada para substituir a abordagem de melhoria grande e concentrada no RRC.

4.5 UMA ABORDAGEM HÍBRIDA ENTRE AS POLÍTICAS DE MELHORIA DAS ABORDAGENS MANUFATURA ENXUTA E TEORIA DAS RESTRIÇÕES

A abordagem híbrida proposta consistiu em distribuir os 50% de investimento no RRC, que antes haviam sido distribuídos igualmente em todas as estações, de maneira equitativa entre as estações que antecedem o processamento no recurso RRC, incluindo o RRC. A Figura 7 ilustra a abordagem híbrida comparando-a com as políticas de melhoria de investimento concentrado no RRC e de investimento em todas as estações. Na Figura 11, o RRC foi colocado na estação 3 apenas pra exemplificar a abordagem híbrida.

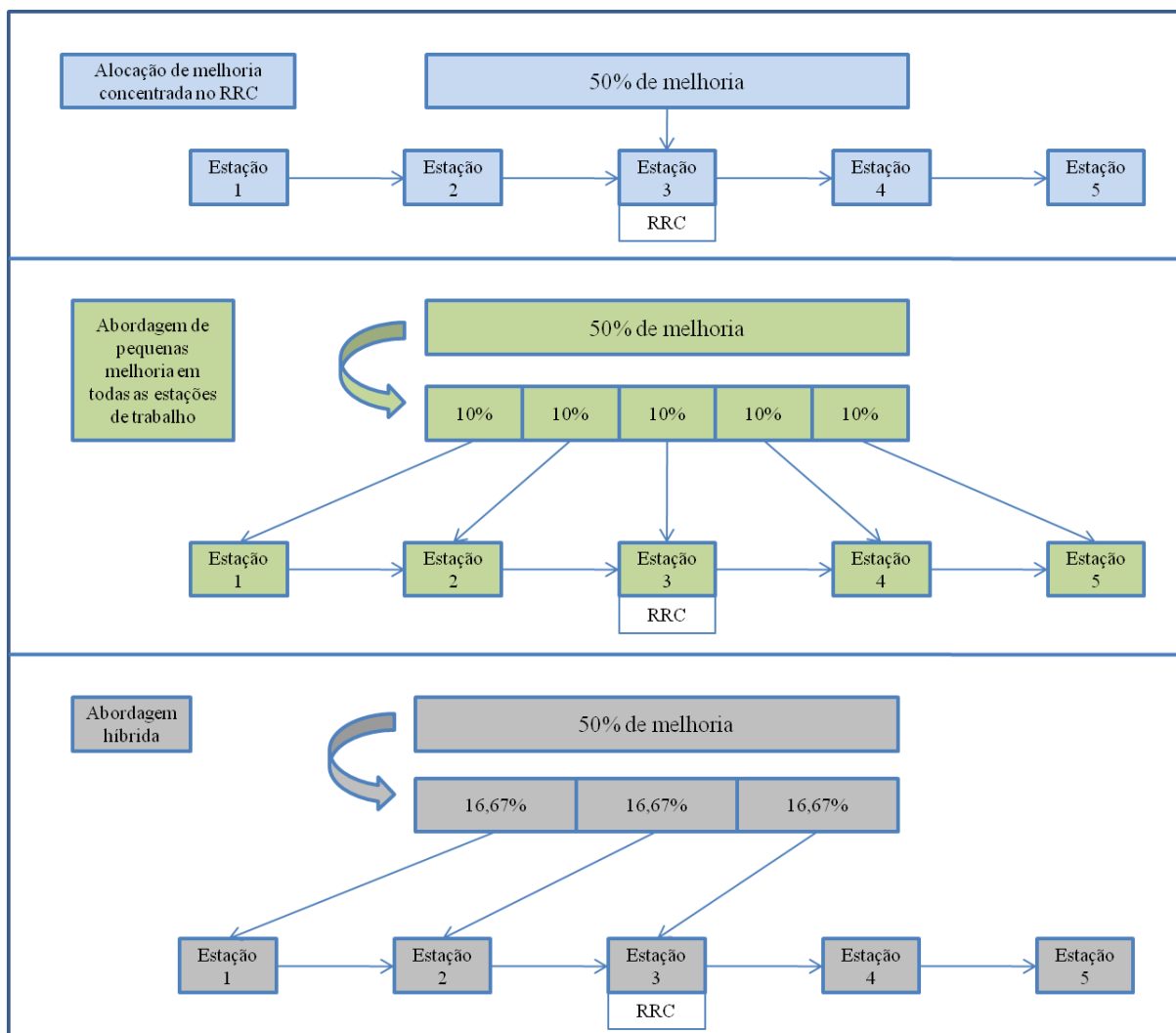


Figura 11 – Diferentes alternativas de alocação de melhoria

Apenas para deixar isso mais claro, supondo que o recurso RRC fosse a estação 3. Para esse caso, distribui-se os 50% de investimento igualmente nas estações 1 e 3, ou seja, 16,67% de melhoria para cada estação.

Foram simulados dois diferentes cenários:

- a. Cenário 6: O tempo de processamento do recurso RRC é 15% maior do que o tempo de processamento dos recursos não RRC;
- b. Cenário 7: O tempo de processamento do recurso RRC é 10% maior do que o tempo de processamento dos recursos não RRC.

Nos dois cenários, foram testados diferentes níveis de utilização do RRC, a saber: 99,8%, 95,5% e 90,5%. Além disso, as simulações foram realizadas com o RRC localizado em todas as estações de trabalho, com a intenção de verificar se há diferença no desempenho dos programas de melhoria de acordo com a posição do mesmo. Inicialmente, para verificar a viabilidade e o comportamento da abordagem híbrida, foi testada apenas a

variável variabilidade de chegadas, cabendo a um trabalho futuro uma investigação para todos os programas de melhoria.

4.5.1 Cenário 6: Recurso restrição de capacidade com tempo de processamento 15% superior as demais estações de trabalho

Os valores dos *lead times* em minutos, para cada posição do RRC e nível de utilização, são apresentados nas Tabelas 18, 19 e 20.

TABELA 18 - RRC com nível de utilização 99,8%

Caso	Lead time (em minutos) de acordo com a posição do RRC					
	ET1	ET2	ET3	ET4	ET5	
Melhoria na variabilidade do tempo entre as chegadas de ordens	10%	566148	841578	890814	899634	901282
	Híbrida	560380	694867	792136	856791	901282

TABELA 19 - RRC com nível de utilização 95,5%

Caso	Lead time (em minutos) de acordo com a posição do RRC					
	ET1	ET2	ET3	ET4	ET5	
Melhoria na variabilidade do tempo entre as chegadas de ordens	10%	45992	53816	55458	55816	55953
	Híbrida	51602	52667	53853	54831	55953

TABELA 20 - RRC com nível de utilização 90,5%

Caso	Lead time (em minutos) de acordo com a posição do RRC					
	ET1	ET2	ET3	ET4	ET5	
Melhoria na variabilidade do tempo entre as chegadas de ordens	10%	26425	28732	29344	29512	29586
	Híbrida	30591	29711	29360	29386	29586

Para efeito de comparação entra a abordagem híbrida e a alternativa de melhoria de 10% em todas as estações de trabalho, será desconsiderada a estação 5. O motivo para isso é que para essa posição do RRC a abordagem híbrida distribui a melhoria da mesma maneira que a alternativa de melhoria em 10% em todas as estações e, por isso, os valores dos *lead times* são iguais. Por meio da análise das tabelas 18, 19 e 20 verificou-se que:

- i. A abordagem híbrida teve melhor resultado em 8 casos de um total de 12, sendo que para um RRC com utilização de 99,8%, a abordagem híbrida foi superior em todos os 4 casos. Já para um RRC com utilização de 95,5% foi superior em 3 casos e foi superada em 1 deles (estação 1). Por fim, para um RRC com utilização de 90,5% a alternativa de melhoria em todas as estações foi superior em 3 casos, sendo superada pela abordagem híbrida apenas na estação 4. Essa constatação parece indicar que na presença de RRCs com utilizações muito altas a abordagem híbrida prevalece e a medida que a utilização

do RRC diminui a alternativa de melhoria em todas as estações é favorecida.

- ii. Notou-se que, para a abordagem híbrida, RRCs com 95,5% e 99,8% de utilização, à medida que o RRC se encontrava mais para o final da linha o *lead time* aumentava. Isso não foi válido para um RRC com 90,5% de utilização, pois nesse caso o *lead time* decresceu até a estação 3 chegando ao valor mínimo e foi crescente até a estação 5. Essa constatação remete novamente a questão da melhor localização do RRC, que foi discutida sucintamente na primeira constatação da seção 4.2.1.

4.5.2 Cenário 7: Recurso restrição de capacidade com tempo de processamento 10% superior as demais estações de trabalho

Os valores dos *lead times* em minutos, para cada posição do RRC e nível de utilização, são apresentados nas tabelas 21, 22 e 23.

TABELA 21 - RRC com nível de utilização 99,8%

Caso	Lead time (em minutos) de acordo com a posição do RRC					
	ET1	ET2	ET3	ET4	ET5	
Melhoria na variabilidade do tempo entre as chegadas de ordens	10%	585067	874236	909922	914380	915051
	Híbrida	583320	722770	815099	874505	915051

TABELA 22 - RRC com nível de utilização 95,5%

Caso	Lead time (em minutos) de acordo com a posição do RRC					
	ET1	ET2	ET3	ET4	ET5	
Melhoria na variabilidade do tempo entre as chegadas de ordens	10%	55652	63086	64316	64530	64633
	Híbrida	63336	63215	63529	63896	64633

TABELA 23 - RRC com nível de utilização 90,5%

Caso	Lead time (em minutos) de acordo com a posição do RRC					
	ET1	ET2	ET3	ET4	ET5	
Melhoria na variabilidade do tempo entre as chegadas de ordens	10%	33831	35760	36165	36257	36307
	Híbrida	39621	37785	36785	36294	36307

Por meio da análise das Tabelas 21, 22 e 23, verificou-se que ao diminuir a diferença no tempo de processamento dos recursos RRC e não RRC, as principais diferenças encontradas foram:

- i. Para esse cenário tanto a abordagem híbrida quanto a de melhoria em todas as estações de trabalho foram superiores em 6 casos de um total

de 12. Observou-se a que a abordagem híbrida continuou superior em todos os 4 casos quando o RRC tem utilização de 99,8%. Em contrapartida, para o RRC com utilização de 90,5% a alternativa de melhoria em todas as estações foi superior todos os 4 casos, Por fim, para o RRC com utilização de 90,5% houve empate, sendo que a abordagem de melhoria em todas as estações foi melhor para o RRC nas estações 1 e 2 e a abordagem híbrida foi melhor para o RRC nas estações 3 e 4. Essa constatação reforça a idéia de que na presença de RRCs com utilizações muito altas a abordagem híbrida prevalece e a medida que a utilização do RRC diminui a alternativa de melhoria em todas as estações é favorecida.

- ii. Foi constatado que para a abordagem híbrida, para o RRC com 95,5% de utilização o *lead time* passou a ser decrescente até a estação 2 e a partir daí crescente até a estação 5. Já para o RRC com utilização de 90,5% o *lead time* passou a ser decrescente até a estação 4 e voltou a crescer na estação 5.

A partir dos resultados desta seção é possível apontar a abordagem híbrida como uma alternativa interessante para o caso em que for muito difícil realizar uma grande melhoria no RRC. Os resultados mostraram que nessa situação, tanto a abordagem híbrida quanto a abordagem de melhoria em todas as estações de trabalho podem ser utilizadas, entretanto, para um RRC com utilização mais altas (99,8* e 95,5%) a opção híbrida parece ser a melhor, Já para RRC com utilização mais baixa (90,5%), a alternativa de melhoria em 10% em todas as estações foi superior. No entanto, a abordagem híbrida demanda uma investigação mais detalhada, que será feita em um trabalho futuro.

CAPÍTULO 5 CONCLUSÕES

O objetivo do presente trabalho foi identificar se é melhor implementar melhorias em variáveis do chão de fábrica apenas no RRC, como defende a Teoria das Restrições, ou, alternativamente, pequenas melhorias em todas as estações de trabalho, como sugerem as técnicas e ferramentas da Manufatura Enxuta.

Para isso, foram realizadas simulações utilizando o modelo híbrido *System Dynamics-Factory Physics*, em um ambiente *flow shop* com 5 estações de trabalho que processaram um único tipo de produto.

Os principais resultados encontrados no presente trabalho foram relacionados a fim de recomendar práticas que possam ser utilizadas em decisões do dia-a-dia de gerentes de fábrica. As seguintes recomendações práticas para um gerente que precise optar entre um investimento grande e concentrado ou um pequeno e direcionado a vários pontos da linha. Para os 6 programas de melhoria estudados, de uma forma geral, as conclusões foram.

- i. Quando a utilização do RRC for alta e a diferença na utilização entre RRC e não RRC for considerável (acima de 10%), um investimento grande e concentrado é a melhor opção, uma vez que dos cenários analisados, em 171 casos de 180 possíveis, o investimento em 50% obteve melhor resultado. A maioria das exceções (10% melhor) ocorreu em programas relativos à redução de variabilidade, a qual, de acordo com Hopp e Spearman (2001), não tem efeito direto na utilização;
- ii. Conforme a utilização do RRC diminui, o programa de 10% começa a se comportar melhor. Essa diferença no comportamento dos programas de melhoria de acordo com o nível de utilização é investigada mais a fundo no artigo de Godinho Filho e Uzsoy (2011). Na verdade estes autores concluem que o investimento distribuído é melhor do que o investimento somente no gargalo quando uma linha está balanceada.
- iii. Conforme a diferença de utilização entre o RRC e os não RRCs diminui, o desempenho da alternativa de melhoria distribuída vai melhorando. Na verdade, essa diminuição na diferença de utilização entre o RRC e os não RRCs pode ser entendida como uma trajetória rumo ao balanceamento da linha. Entretanto, o grau de balanceamento

necessário para a alternativa de melhoria distribuída obter êxito depende do nível de utilização do RRC. Dessa forma, quanto maior o nível de utilização do RRC, mais balanceada a linha deverá ser para que as políticas de melhoria da Manufatura Enxuta se sobressaiam em relação à política básica do TOC. Portanto, se a linha estiver próxima de balanceada, mesmo com alta utilização, o programa de melhoria em 10% passa a ser boa opção. Isso reforça o porquê da Manufatura Enxuta defender linhas balanceadas;

- iv. Se na prática, a linha não estiver balanceada e o RRC estiver com alta utilização e a diferença no tempo de processamento entre o mesmo e os não RRCs for significativa o ideal é realizar um investimento grande e concentrado no RRC. Porém nas situações nas quais o investimento para se melhorar o gargalo for proibitivo, tanto a alternativa de melhoria direcionada a vários pontos da linha quanto a abordagem híbrida são boas opções. Resultados preliminares a respeito da abordagem híbrida indicam que na presença de um RRC com utilização mais alta (99,8% e 95,5%) a abordagem híbrida prevalece e quando o RRC possui menor utilização (90,5%) a alternativa de melhoria em todas as estações é favorecida. No entanto, a abordagem híbrida ainda demanda uma investigação mais detalhada no futuro.

Essas recomendações práticas são bastante úteis para gerentes que enfrentem o problema de decidir qual a melhor forma de investir em melhoria em uma linha produtiva. O gerente poderá entender, então, quando é melhor fazer um grande investimento e quando é melhor distribuir esse investimento em pequenas melhorias ao longo da linha. Além disso, poderá analisar se a abordagem híbrida sugerida neste trabalho é uma alternativa interessante, principalmente em casos onde é difícil balancear a linha e o RRC é preponderante. A Figura 12 apresenta um algoritmo que resume essas considerações feitas.

Para utilizar o algoritmo proposto, a primeira pergunta a ser feita é se a linha é balanceada ou não. Se a resposta for sim, a melhor opção é investir em pequenas melhorias em vários pontos da linha, o que é condizente com o trabalho de Godinho Filho e Uzsoy (2011) que investigam com detalhes a diferença na utilização entre RRC e não RRC. Os autores constatam que, com a linha balanceada, mesmo se a utilização média for alta (acima

de 90%), pequenas melhorias em todas as estações superam o grande investimento no RRC. Se a resposta for não, o indicado é verificar se é possível balancear a linha.

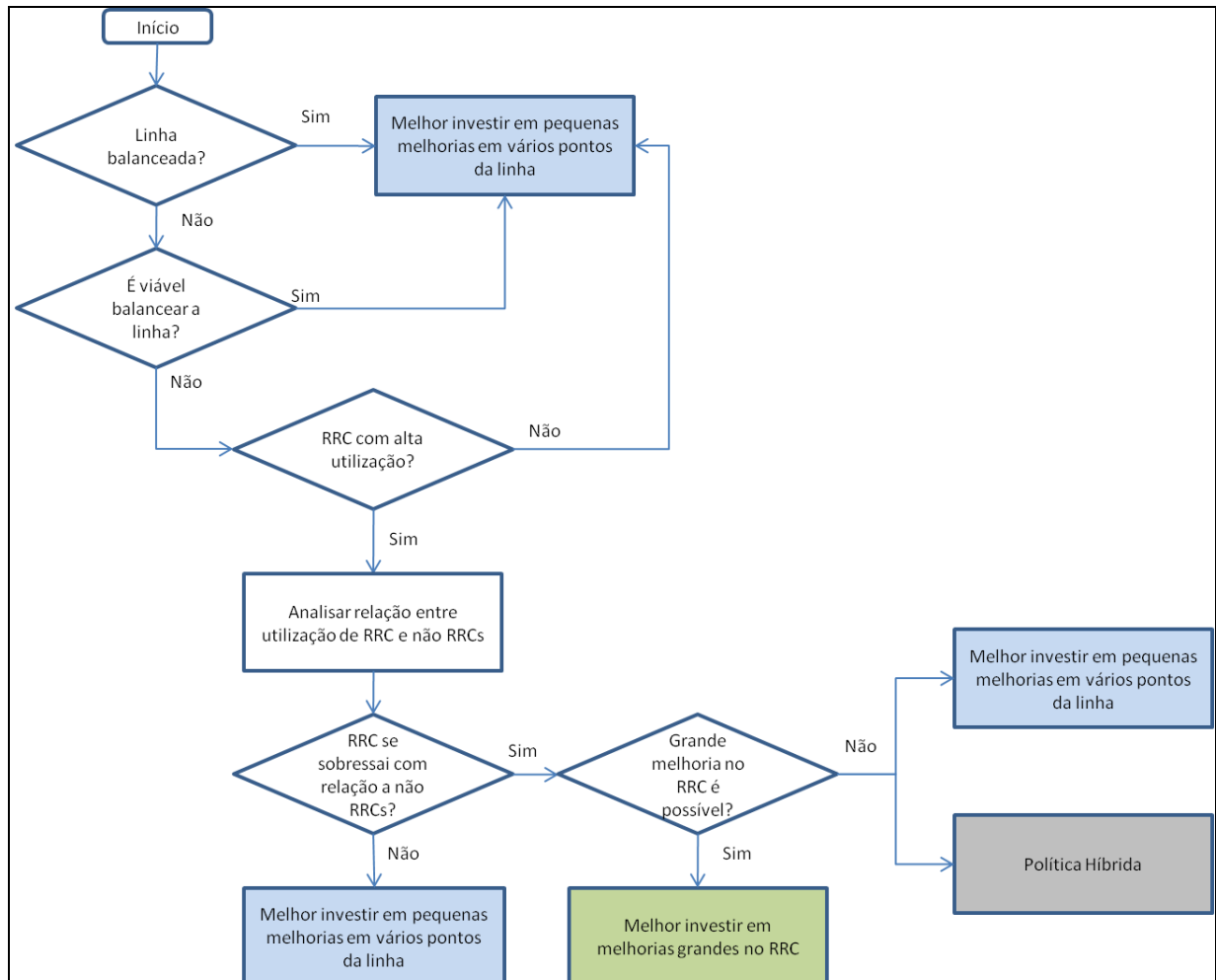


Figura 12 – Algoritmo de escolha de alternativa de melhoria mais adequada

Se a resposta for sim, novamente a melhor alternativa parece ser investir em pequenas melhorias em vários pontos da linha. O balanceamento da linha pode ser feito basicamente de duas maneiras, por meio da elevação da capacidade do RRC (reduzindo a utilização do mesmo) ou por meio da alocação da capacidade protetiva nos recursos não RRC. Se não for viável efetuar o balanceamento, deve-se verificar se o RRC possui uma utilização alta. Testes realizados no presente trabalho e em Godinho e Uzsoy (2011) indicam que alta utilização significa uma utilização superior a 90%. Se a resposta for não, volta-se a opção de investir em pequenas melhorias em vários pontos da linha.

Se a resposta for sim, é necessário analisar a relação entre utilização de RRC e não RRCs, ou seja, estudar se a diferença entre a utilização, mais especificamente no tempo

de processamento do RRC e não RRC é significativa ou não. Para investigar essa diferença é indicado consultar as análises realizadas na seção 4.3, que apontaram que uma diferença no tempo de processamento de acima de 5% pode ser considerada significativa, ou seja, o RRC se sobressai em relação aos não RRCs. Caso a diferença não seja significativa, volta-se a alternativa de realizar pequenas melhorias em todas as estações de trabalho. Caso a diferença seja significativa, ou seja, o RRC se sobressaia, o adequado é verificar se é possível efetuar uma melhoria grande no RRC. No decorrer deste capítulo, o grande investimento concentrado no RRC foi representado pelo investimento de 50% de melhoria no RRC. Adicionalmente, foi observado também que o grande investimento pôde ser representado por uma melhoria concentrada de 25% no RRC, pois o mesmo se sobressaiu em relação ao investimento em 10% em todas as estações de trabalho, principalmente para o RRC com utilização de 99,8%. Logo, se for possível efetuar essa grande melhoria no RRC, ela deve ser feita. Caso não seja possível, é proposto que se utilize ou a alternativa de melhoria em todas as estações de trabalho ou a abordagem híbrida sugerida neste trabalho. Resultados preliminares indicaram que para esta situação, com o RRC com utilizações mais altas (99,8%), a abordagem híbrida é a mais indicada. Já para um RRC com utilização mais baixa (90,5%) a alternativa de alocação de programas de melhoria em todas as estações de trabalho se sobressaiu. No entanto, a política híbrida demanda uma investigação mais detalhada, a ser feita em um trabalho futuro.

CAPÍTULO 6: REFERÊNCIAS

ANTUNES, J. et al. **Sistemas de Produção: conceitos e práticas para projeto e gestão da produção enxuta**. Porto Alegre: Bookman, 2008. 326p.

AMARATUNGA, D. et al. Quantitative and qualitative research in the built environment: application of "mixed" research approach. **Work Study**, [S.I.], v.51, n.1, p.17-31, 2002.

AGGARWAL, C.S.; AGGARWAL, S. The management of manufacturing operations: an appraisal of recent developments. **International Journal of Production Management**, v. 5, n.3, p. 21-38, 1985.

BERENDS, P.; ROMME, G. Simulation as a research tool in management studies. **European Management Journal**, v. 17, n.6, p. 576-583, 1999.

BERTO, R.M.V.S.; NAKANO, D.N. A produção científica nos anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção: um levantamento de métodos e tipos de pesquisa. **Produção**, v.9, n. 2, 65-76, 2000.

BERTRAND, J.W.M.; FRANSOO, J.C. Operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n.2, p. 241-264, 2002.

BETTERTON, C. F.; COX, J. F. Espoused drum-buffer-rope flow control in serial lines: A comparative study of simulation models. **International Journal of Production Economics**, v. 117, p. 66-79, 2008.

BILLINGTON, P.J. Holding cost reduction in the EOQ model. **Journal of American Academy of Business**, [S.I.], v. 3, n.1-2, p.409-415. 2003.

BLACKSTONE Jr., J. H.; COX, J. F. Designing unbalanced lines – understanding protective capacity and protective inventory. **Production planning and control**, v.13, n.4, p. 416-423, 2002.

BLACKSTONE JR, J. H. A review of Literature on Drum-Buffer-Rope, Buffer Management and Distribution. In: COX, J.F. and SCHLEIER JR, J.G. eds. **Theory of constraints Handbook**. United States of America: McGraw-Hill, 2010, p. 145-173.

BOLANDER, S.F.; TAYLOR, S.G. Scheduling techniques: a comparison of logic. **Production and Inventory Management Journal**, v. 41, n. 1, p. 1-6, 2000.

BRYMAN, A. **Research methods and organization studies**. Londres: Unwin Hyman, 1989.

CARIDI, M.; CIGOLINI, R., FARINA, V. Designing unbalanced paced lines: a conceptual model and an experimental campaign. **Production Planning and Control**, v. 17, n. 5, p. 464-479, 2006.

CARVALHO, M.C.M. de. A construção do saber científico: algumas posições. In: CARVALHO, M. C. M. (org.). **Construindo o saber**. 2. ed. Campinas: Papirus, 2000. p. 63-86.

CHAKRAVORTY, S.S.; ATWATER, J.B. A comparative study of line design approaches for serial production systems. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 16, n. 6, 91-108, 1996.

CHHAJED, D.; KIM., K. How important are lead times? **Purchasing Magazine**, v.119. n. 5, 1995.

CORREA, H.; GIANESI, I. G. N. **Just in time, MRPII e OPT**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 1993.

COOK, D.P. A simulation comparison of traditional, JIT and TOC manufacturing systems in a flow shop with bottlenecks. **Production and Inventory Management Journal**, v. 35, n. 1, p. 73-78, 1994.

CRAIGHEAD, C. W.; MEREDITH, J. R. Operations management research: evolution and alternative future paths. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 28, p.710-726, 2008.

DAVIS, L. E. Pacing effects of manned assembly lines. **International Journal of Production Research**, v. 4, n.3, p. 171, 1966.

DETTMER, H.W. **Beyond Lean Manufacturing: Combining Lean Manufacturing and the Theory of Constraints for Higher Performance**. Port Angeles. Disponível em: <<http://goalsys.com/books/documents/TOCandLeanPaper-rev.1.pdf>>. Acessado em: 14 ago. 2010.

ERICKSEN, P. D.; STOFLET, N. J.; SURI, R. **Manufacturing Critical-path Time (MCT): The QRM Metric for Lead time**. Technical Report, Center for QRM, Wisconsin-Madison, 2007

FERGUSON, L.A. An analysis of JIT using Theory of Constraints (TOC). In: Annual Meeting of the Decision Sciences Institute, 2002. **Proceedings...**, 2002, p. 1739-1744.

FERNANDES, F.C.F.; GODINHO FILHO, M.. **Planejamento e controle da produção – dos fundamentos ao essencial**. São Paulo: Atlas, 2010. 275p.

FILIPPINI, R. Operations Management research: some reflections on evolution, models and empirical studies in OM. **International Journal of Operations and Production Management**, v.17, n.7, p.655-670, 1997.

FORRESTER, J. W. **Industrial Dynamics**. Portland: Productivity Press, 1961. 464p.

FORZA, C. Survey research in operations management: a process-based perspective. **International Journal of Operations & Production Management**, v.22, n.2, p. 152-194, 2002.

FRY, T.D.; BLACKSTONE, J.H. Planning for idle time: a rationale for underutilization of capacity. **International Journal of Production Research**, v.26, n.12, p. 1853-1859, 1988.

GARDINER, S.C. et al. The evolution of the theory of constraints. **Industrial Management**, v. 36, n.3, p. 13-17, 1994.

GELDERS, L.F.; WASSENHOVE, L.N.V. Capacity planning in MRP, JIT and OPT: a critique. **Engineering costs and production economics**, v. 9, p. 201-209, 1985.

GODINHO FILHO, M.; FERNANDES, F. C. F. Um sistema para classificar e codificar os trabalhos relacionados com o Controle da Produção e o Controle da Qualidade. **Revista Gestão & Produção**, v. 10, n.1, 2003.

GODINHO FILHO, M; UZSOY, R. Combining System Dynamics And Factory Physics Approach To Study The Effect Of Continuous Improvement On Lot Size – Cycle Time Relationships. In: Production and Operation Management Society (POMS), 19, 2008a, La Jolla, **Proceedings...** California, 2008a, 7p.

GODINHO FILHO, M.; UZSOY, R. Combining System Dynamics and Factory Physics to study the effect of continuous improvement. in Operating Curves. In: Industrial Engineering Research Conference (IIE annual conference), 2008, Vancouver. **Proceedings...** [S.I:S.I], 2008b, 10p.

GODINHO FILHO, M.; UZSOY, R. Efeitos da redução do tamanho de lote e de programas de Melhoria Contínua no Estoque em Processo (WIP) e na Utilização: estudo utilizando uma abordagem híbrida System Dynamics-Factory Physics. São Paulo. **Produção**, v.19, n.1, jan/abr., p.214-224, 2009.

GODINHO FILHO, M.; UZSOY, R. Using operating curves to assess the impact of continuous improvement programs in flow-shops. **Production Planning and Control**, 2011. Artigo submetido (no prelo).

GOLDRATT, E.; COX, J. **The goal: Excellence in manufacturing**. Croton-on-Hudson, NY:North River Press, 1984.

GOLDRATT, E. **A meta na prática**. Tradutora Maria Lúcia Cumo. São Paulo: Nobel, 2006.

GOLDRATT, E. Introduction to TOC – My perspective. In: Cox, J.F. and Schleier JR, J.G. eds. **Theory of constraints Handbook**. United States of America: Ed. McGraw-Hill, 2010, p. 3-9.

GRUNWALD et al. A framework for quantitative comparison or production control concepts. **International Journal of Production Research**, v.27, n.2, p. 281-292, 1989.

GUIMARAES, A.A. **Utilização de um método híbrido System-Dynamics- Factory Physics para a investigação do efeito de ações de melhoria contínua na redução do Lead Time**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, 2010.

GUPTA, M.; SNYDER, D. Comparing TOC with MRP and JIT: a literature review. **International Journal of Production Research**, v.47, n.13, p. 3705-3739, 2009.

HEIN, K.. Creating continuous improvement synergy with lean and TOC. In: Annual Quality Congress Transactions,1999. **Proceedings...**, 24-26 May., ASQ, p. 543-549, 1999.

HILLIER, F. S.; BOLING, R. W. The effect of some design factors on the efficiency of production lines with variable operations. **Journal of Industrial Engineering**, v.17, n.12, 651-658, 1966.

HILLIER, F. S.; SO, K. C. On the robustness of the bowl phenomenon. **European Journal of Operational Research**, v.89, n.3, p. 496, 1996.

HOPP, W. J.; SPEARMAN, M. L. **Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management**, Nova Iorque: Irwin, 2001, 698p.

HOPP, W. J.; SPEARMAN, M.L. **Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management**. Nova Iorque: McGraw Hill Higher Education, 2008, 720p.

HUANG, H.H. Integrated production model in agile manufacturing systems. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v.20, p. 515-525, 2002.

HURLEY, S.F.; WHYBARK, D.C. Inventory and capacity trade-offs in a manufacturing cell. **International Journal of Production Economics**, v.59, p. 203-212, 1999.

HWANG, H.; KIM, D.B.; KIM, Y.D. Multiproduct economic lot size models with investment costs for set up reduction and quality improvement. **International Journal of Production Research**, [S.I.], v.31, n.3, p.691-703, 1993.

JOLDBAUER, H.; HUBER, A..Service-level performance of MRP, Kanban, CONWIP and DBR due to parameter stability and environmental robustness. **International Journal of Production Economics**, v. 45, n.8, p. 2179-2195, 2008.

KADIPASAOGLU, et al.. A study on the effect of the extent and location of protective capacity in flow systems. **International Journal of Production Economics**, v. 63, p. 217-228, 2000.

KIM, et al. An exploratory study of protective inventory in a re-entrant line with protective capacity. **International Journal of Production Research**, v.48, n.14, p. 4153-4178, 2009.

LAKATOS,E.M.; MARCONI, M.A. **Metodologia do trabalho científico: procedimentos básicos, pesquisa bibliográfica, projeto e relatório, publicações e trabalhos científicos**. 6 ed. São Paulo: Atlas, 2001. 219 p.

LAMBRECHT, M.R.; DECALUWE, L. JIT and constraint theory: The issue of bottleneck management. **Production and Inventory Management Journal**, v. 29, p. 61-66, 1988.

LAMBRECHT, M.; SEGAERT, A. Buffer stock allocation in serial and assembly type of production lines. **International Journal of Operations and Production Management**, v.10, n.2, p. 47-61, 1990.

LEA, B.R.; MIN, H. Selection of management accounting systems in Just-In-Time and Theory of Constraints-based manufacturing. **International Journal of Production Research**, v. 41, n.13, p. 2879-2910, 2003.

LIKER, J.K. **O modelo Toyota: 14 princípios de gestão da maior fabricante do mundo**. Porto Alegre: Bookman, 2005.

MARTINS, R. A. Abordagens quantitativa e qualitativa. In: MIGUEL, P. A. C. ed. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010, p.73-128.

MASON-JONES, R.; TOWILL, D. R. Total cycle time compression and the agile logistic network. **International Journal Production Economics**, v.62, p.61-73, 1999.

MATSUURA et al. Concepts, practices and expectations of MRP, JIT and OPT in Finland and Japan. **International Journal of Production Economics**, v. 41, p. 267-272, 1999.

MELETON, M. P. OPT – fantasy or breakthrough? **Production and Inventory Management**, v.27, n.2, p.12-21, 1986.

MEREDITH, J. R. et al. Alternative research paradigms in operations. **Journal of operations Management**, v. 8, p. 297-326, 1989.

MIGUEL, P.A.C.; LEE HO, L. Levantamento do tipo survey. In: MIGUEL, P. A. C. ed. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, p.73-128, 2010.

MILTENBURG, J. Comparing JIT, MRP and TOC, and embedding TOC into MRP. **International Journal of Production Research**, v.35, n.4, p. 1147-1169, 1997.

MONDEN, Y. **Applying Just in Time: The American/Japanese experience**. Norcross, GA: Industrial Engineering and Management Press, 1986.

NAVE, D. How to compare Six Sigma, Lean and the Theory of Constraints. **Quality Progress**, p. 73-78, 2002.

NEELY, A.D; BYRNE, M.D. A simulation study of bottleneck scheduling. **International Journal of Production Economics**, 26, 187-192, 1992.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção**: além da produção em larga escala. Porto Alegre: Bookman, 1997.

PATTI, A. et al. The shape of protective capacity in unbalanced production systems with unplanned machine downtime. **Production and Planning Control**, v.19, n.5, p. 486-494, 2008.

PAYNE, S.; SLACK, N.; WILD, R. A note on the operating characteristics of “balanced” and “unbalanced” production flow lines. **International Journal of Production Research**, v.10, n.1, 93, 1972.

PLENERT, G.; BEST, T.D. MRP, JIT, and OPT: What’s “best”? **Production and Inventory Management**, v.27, n.2, p. 22-28, 1986.

PORTER, A. M. Unlocking leadtimes. **Purchasing**, p. 34-37, March 6, 2003.

PTAK, C.A. MRP, MRP II, OPT, JIT - Succession, evolution, or necessary combination. **Production and Inventory Management Journal**, v.32, n.2, p. 7-11, 1991.

RAMSAY, S. et al. Push, pull and squeeze shop floor control with computer simulation. **Industrial Engineering**, v.22, n.2, p. 39-45, 1990.

REA, L.M.; PARKER, R.A. **Designing and Conducting Survey Research**. San Francisco (CA): Jossey-Bass, 1992.

RENTES, A. F. **TransMeth** – Proposta de uma Metodologia para Condução de Processos de Transformação de Empresas. Tese (Livre-Docência) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

ROTHER, M.; SHOOK, J. **Aprendendo a enxergar** – mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2003.

SALE, M.L.; INMAN, R.A. Survey-based comparison of performance and change in performance of firms using traditional manufacturing, JIT and TOC. **International Journal of Production Research**, v.41, n.), p. 829-844, 2003.

SHINGO, S. **A Study of the Toyota Production System**. Productivity Press, 1989.

SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção do ponto de vista da Engenharia de Produção**. Porto Alegre: Bookman, 1996.292p.

SIPPER, D.; BULFIN Jr., R. L. **Production: Planning, control and integration**. New York: McGraw-Hill, 1997.

SLACK, N. et al. **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 2002.

SMUNT, T. L.; PERKINS, W. C. Stochastic unpaced line design – review and further experimental results. **Journal of Operations Management**, v.5, n.3, p. 351-373, 1985.

SMUNT, T. L.; PERKINS, W. C. Stochastic unpaced line design – a reply. **Journal of Operations Management**, v.8, n.1, p.55-62, 1989.

STERMAN, J.D. **Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world**. Boston: Irwin McGraw-Hill, 2000, 982 p.

SULLIVAN, T.T.; REID, R. A.; CARTIER, B. **The Theory of Constraints International Certification Organization Dictionary**, Theory of Constraints International Certification Organization, Washington D. C. 1. Ed., 2007. Disponível em: <<http://www.tocico.org/?page=dictionary>>. Acessado: 02 fev. 2011.

SURI, R. **Quick Response Manufacturing: A companywide approach to reducing lead times**. Portland: Productivity Press, 1998.

TAKAHASHI, K.; MORIKAWA, K.; CHEN, Y.C. Comparing *Kanban* control with the theory of constraints using Markov chains. **International Journal of Production Research**, v.45, n.16, p. 3599-3617, 2007.

THOMSON JR., W.W.; BURFORD, R. L. Some observations on the bowl phenomenon. **International Journal of Production Research**, v.26, n.8, p. 1367, 1988.

VENKATESH.M.A. et al. Synergies of Three Letters Syndrome for Revitalizing **Manufacturing.Engineering Letters**, v.14, n.1, p. 55-60, 2007.

VOLLMAN, T. E.; BERRY, W. L.; WHYBARK, D. C. **Manufacturing planning and control systems**. 4 ed. McGraw-Hill, 1997.

WANG, Y. et al. Hybrid *Kanban/Conwip* Control System Simulation. In: International Conference on Intelligent Computing and Intelligent Systems, 2009. **Proceedings...**, IEEE, 2009, p. 666-670.

WATSON, K.J.; PATTI, A. A comparison of JIT and TOC buffering philosophies on system performance with unplanned machine downtime. **International Journal of Production Research**, v. 46, n.7, p. 1869-1885, 2008.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A mentalidade enxuta nas empresas**. 5 ed. Rio de Janeiro: Campus, 1998.

WOMACK, JAMES P.; JONES, DANIEL T.; ROOS, DANIEL. **A máquina que mudou o mundo**: baseado no estudo do Massachusetts Institute of Technology sobre o futuro do automóvel. Ivo Korytowski (Trad.). 5 ed. Rio de Janeiro: Campus, 1992.

YANYING, C.;BINBIN, J. Dynamic efficiency and performance improvement to service firms based on integrated MRP II/JIT/TOC system. In: International Conference on Wireless Communications, 2008. **Proceedings...**, IEEE, 2008.