

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

Ana Carolina Oliveira Santos

**ANÁLISE DO INDICADOR DE EFICIÊNCIA
GLOBAL DE EQUIPAMENTOS PARA
ELEVAÇÃO DE RESTRIÇÕES FÍSICAS EM
AMBIENTES DE MANUFATURA ENXUTA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção como requisito parcial à obtenção do título de *Mestre em Engenharia de Produção*

Orientador: Prof. Carlos Eduardo Sanches da Silva, Dr.

Co-orientador: Prof. Dagoberto Alves de Almeida, Dr.

Itajubá

2009

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

Ana Carolina Oliveira Santos

**ANÁLISE DO INDICADOR DE EFICIÊNCIA
GLOBAL DE EQUIPAMENTOS PARA
ELEVAÇÃO DE RESTRICÇÕES FÍSICAS EM
AMBIENTES DE MANUFATURA ENXUTA**

Dissertação para avaliação por banca examinadora em 13 de outubro de 2009, conferindo à autora o título de Mestre em Ciências de Engenharia de Produção.

Banca Examinadora:

Prof. Paulino Graciano Francischini

Prof. Fabiano Leal

Prof. Carlos Eduardo Sanches da Silva – Orientador

Dagoberto Alves de Almeida – Co- Orientador

Itajubá

2009

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Mauá –
Bibliotecária Margareth Ribeiro- CRB_6/1700

S237a

Santos, Ana Carolina Oliveira

Análise do indicador de eficiência global de equipamentos para
elevação da restrição física em um ambiente de manufatura enxuta /
Ana Carolina Oliveira Santos. -- Itajubá, (MG) : [s.n.], 2009.
119 p. : il.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches da Silva.

Co-orientador: Prof. Dr. Dagoberto Alves de Almeida.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá.

1. Eficiência global de equipamentos - (OEE). 2. Teoria das res_ trições – (TOC). 3. Manufatura enxuta. I. Silva, Carlos Eduardo Sanches da, orient. II. Almeida, Dagoberto Alves de, co-orient. III. Universidade Federal de Itajubá. IV. Título.

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, aos meus pais, Dionísio e Vera, que por tantas vezes me incentivaram para que eu me dedicasse aos meus estudos. Às minhas irmãs e à minha sobrinha Gabriela, dedico esse trabalho, não apenas para prestar minha homenagem, mas também para dar um exemplo de trabalho e dedicação.

Dedico esse trabalho também ao meu amigo e orientador Professor Dr. Carlos Eduardo Sanches, pelo conhecimento e dom de ensinar.

Aos meus amigos que sempre me apoiaram e me incentivaram em todos os momentos de minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por todas suas bênçãos, por sempre guiar meus passos e por me permitir mais esta conquista.

Meus agradecimentos aos meus pais que sempre estiveram presentes e me apoiando em todos os momentos. À minha irmã Cláudia, que mesmo distante, não deixou nunca de estar presente em minha vida. A todos os meus amigos, por entenderem meus momentos de ausência nos últimos meses e a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para que eu alcançasse mais um objetivo.

À Mahle Componentes de Motores Ltda. e ao sr. Ruy Romeiro pelo apoio para realização desse trabalho.

Ao grande amigo e exemplo de profissional, Marcos José Santos, pelo constante apoio e incentivo pela busca do conhecimento. Aos demais amigos da empresa e da MFAN pelas discussões, indagações e aprendizado. Aos amigos Ana Paula Figueiredo e Rafael Miranda por todo incentivo e por tornar nosso ambiente de trabalho mais rico e descontraído.

À Universidade Federal de Itajubá por possibilitar que esse sonho se tornasse realidade.

Aos professores Carlos Eduardo Sanches e Dagoberto Alves pelas suas contribuições e orientações.

E a todos os colegas e professores da UNIFEI que contribuíram para o aperfeiçoamento desse trabalho.

“O valor das coisas não está no tempo que elas duram, mas na intensidade com que acontecem. Por isso existem momentos inesquecíveis, coisas inexplicáveis e pessoas incomparáveis.”

Fernando Pessoa

RESUMO

SANTOS, Ana Carolina Oliveira. Análise do indicador de eficiência global de equipamentos para elevação de restrições físicas em um ambiente de manufatura enxuta. Orientador: Carlos Eduardo Sanches da Silva. Itajubá: UNIFEI, 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção).

As inovações de produto, melhoria dos serviços aos clientes e a excelência de produção tem se tornado pontos fortes para aumentar a competitividade das empresas. Por outro lado, de acordo com a teoria das restrições (TOC), as restrições determinam o desempenho de um sistema e que qualquer sistema possui gargalos. O presente trabalho identifica os fatores limitantes de uma empresa para atingir suas metas, ou seja, suas restrições físicas e, em seguida, utiliza ferramentas para a melhoria e aumento de capacidade desses gargalos. Os objetivos desse trabalho consistem em propor e analisar uma sistemática que identifique as fases de um projeto de elevação da restrição, utilizando os passos propostos na TOC juntamente com a aplicação do indicador OEE. Também se pretende contribuir com a verificação da aplicação do OEE como ferramenta de auxílio de gestão das restrições em ambientes de manufatura enxuta. Através da pesquisa-ação realizada, pôde-se verificar que o indicador se mostrou uma ferramenta eficaz na identificação dos desperdícios das restrições, no processo de decisão de como explorá-las e ainda permitiu quantificar e validar estatisticamente as melhorias obtidas com a eliminação do gargalo. Também se verificou oportunidades para trabalhos futuros, tais como a quantificação dos custos dos desperdícios, a implantação de coleta automática dos dados no chão de fábrica para o cálculo do indicador e a disponibilidade de informações em tempo real para os gestores.

Palavras chaves: Eficiência global de equipamentos (OEE), Teoria das restrições (TOC), Manufatura enxuta.

ABSTRACT

SANTOS, Ana Carolina Oliveira. Analyze of the *Overall* Equipment Effectiveness as a tool to improve physicals constraints in a lean manufacturing environment. Orientador: Carlos Eduardo Sanches da Silva. Itajubá: UNIFEI, 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção).

The global market competition obliges companies around the world to be in pursuit of efficient and effectiveness in their operational process, as well as in the production of goods and services and or meeting the customer requirements. This paper indicates the limiting factors that have influence on the company's achieving targets, which means its constraints, and next identifies which production management tools can help to increase the capacity of the bottlenecks. The main purpose of this paper is to offer practical and easy-to-use productivity improvement tool based on constrained management principles. By using the Overall Equipment Effectiveness – OEE indicator – manufacturing managers can make their operations more productive. It is a useful instrument for the productivity improvement because it is easy by plants' managers to help them identify and manage bottlenecks. Furthermore it helps to eliminate wastes from the production system by using it in a lean manufacturing production environment. The action research findings are from automotive parts manufacturing plant, and the results showed that OEE could be considered an efficient tool for identify the wastes in a bottleneck as well as a help guide to address actions in the production management making decision process, in order to handle with the constraints in issues and even allow management to understand and quantify the improvement possibilities. Besides that, validating them using statistical tools in order to certify that the problem with the bottlenecks was solved. Although, the results can also help addressing actions process for future improvement projects, as to valuate the cost of the wastes identified by OEE and to implement an automatic data collect process to calculate it.

Key-Words: Overall Equipment Effectiveness (OEE), Theory of Constraints (TOC), Lean Manufacturing

SUMÁRIO

RESUMO	1
ABSTRACT	2
SUMÁRIO.....	3
LISTA DE FIGURAS	4
LISTA DE QUADROS	5
LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS	6
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....	7
1.1 Justificativas	7
1.2 Objetivos	11
1.2.1 Geral	11
1.2.2 Específico	11
1.3 Limitações	11
1.4 Metodologia.....	11
1.5 Estrutura do trabalho	13
CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1. O sistema toyota de produção	17
2.2. Teoria das restrições (TOC- Theory of constraints).....	28
2.3. Eficiência global de equipamentos - Overall Equipment Effectiveness (OEE)	39
2.4. A utilização do OEE na abordagem da manufatura enxuta e da TOC	49
CAPÍTULO 3 – A PESQUISA	54
3.1 Seleção do método.....	54
3.2 Protocolo de pesquisa	63
3.3 Unidade de pesquisa e metodologia proposta	63
3.4 Coleta de dados e desenvolvimento da pesquisa-ação	65
CAPÍTULO 4 - CONCLUSÃO	96
4.1 Principais conclusões	96
4.1.1 Resultados específicos.....	98
4.2 Sugestões para trabalhos futuros	100
ANEXO 1	102
ANEXO 2	103
ANEXO 3	104
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS COMPLEMENTARES	112

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Cálculo do OEE	41
Figura 2.2 - Gerenciamento da restrição	51
Figura 3.1 – Ciclo da pesquisa-ação.....	61
Figura 3.2 – Ciclos da pesquisa-ação	62
Figura 3.3 – Fluxo produtivo da linha estudada.....	68
Figura 3.4 - Layout da linha de produção estudada e grupo de máquinas gargalo.....	69
Figura 3.5 - Tempo de produção.....	72
Figura 3.6 – Identificação de perdas nos equipamentos gargalos.....	77
Figura 3.7 – Diário de bordo para apontamento.....	78
Figura 3.8 - Tela inicial do aplicativo de cálculo do OEE e ênfase da equipe.....	79
Figura 3.9 – OEE do grupo de máquinas 4.1	80
Figura 3.10 – Principais paradas das máquinas 4.1	81
Figura 3.11 – Layout antes	86
Figura 3.12 – Layout depois.....	87
Figura 3.13 – Trabalho padronizado implementado	88
Figura 3.14 – Boxplot das médias antes e depois.....	90
Figura 3.15 – Evolução dos trabalhos de melhoria de gestão da OEE.....	95
Figura 4.1 – Evolução dos trabalhos de melhoria de gestão da OEE.....	98

LISTA DE QUADROS

Quadro 1.1 – Síntese da pesquisa	15
Quadro 2.1 - Termos utilizados no trabalho	19
Quadro 2.2 – Sete desperdícios para o TPS	23
Quadro 2.3 – Oitavo desperdício segundo Taj e Berro (2006)	24
Quadro 2.4 – Abordagem para identificação dos desperdícios	26
Quadro 2.5 – Relação dos tipos de desperdícios identificados no indicador OEE.....	53
Quadro 3.1 – Classificação da pesquisa	54
Quadro 3.2 – Características da pesquisa-ação e enquadramento no trabalho.....	57
Quadro 3.3 – Principais aspectos da pré-etapa da pesquisa-ação.....	58
Quadro 3.4 – Seis passos do ciclo de condução	59
Quadro 3.5 - Método de pesquisa proposto.....	62
Quadro 3.6 – Delineamento da pesquisa-ação	63
Quadro 3.7 – Fatores críticos para a escolha da empresa objeto de estudo	64
Quadro 3.8 – Primeiro ciclo da pesquisa-ação: identificar a restrição	70
Quadro 3.9 – Primeiro ciclo da pesquisa-ação: decidir como explorar a restrição	82
Quadro 3.10 – Principais desperdícios encontrados no gargalo produtivo	83
Quadro 3.11 – Segundo ciclo da pesquisa-ação: Subordinar tudo a esta restrição	84
Quadro 3.12 – Segundo ciclo da pesquisa-ação: elevar a restrição	89
Quadro 3.13 – Resultado da pesquisa-ação: ganhos obtidos na linha de produção	91
Quadro 3.14 – Terceiro ciclo da pesquisa-ação: Se a restrição for elevada, voltar à primeira etapa.....	92
Quadro 3.15 – Resumo das principais etapas da pesquisa-ação.....	94
Quadro 4.1 – Sistemática proposta e utilizada para integrar OEE e TOC em um ambiente de manufatura enxuta.....	97
Quadro 4.2 - Resultado da pesquisa-ação: ganhos obtidos na linha de produção.....	99

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

OEE – *Overall equipment effectiveness*, Eficiência global de equipamento;

TPM – *Total productive maintenance*, Manutenção produtiva total;

TPS – *Toyota Production System*, Sistema Toyota de produção;

SMED – *Single minute exchange of die*;

TC – Tempo de ciclo;

TAV – Tempo de agregação de valor;

TPP – Tempo programado de produção;

JIT – *Just in time*

TQM – Total Quality Management

DBR – Drum-Buffer-Rope, Tambor-pulmão-corda.

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

Este capítulo contextualiza a pesquisa descrevendo as justificativas do tema, os objetivos gerais e específicos, metodologia de pesquisa e a estrutura da dissertação.

1.1 Justificativas

Atualmente, com a economia globalizada e com a grande competitividade do mercado, as empresas vêm procurando se adequar cada vez mais às exigências dos clientes. Produzir cada vez mais, com menos recursos e com maior velocidade, passaram a ser desafios comuns para as empresas que se preocupam em permanecer no mercado. De acordo com Pomorski (1997), as inovações de produto, melhoria dos serviços aos clientes e a excelência de produção tem se tornado pontos fortes para aumentar a competitividade das empresas.

Segundo Tangen (2003), as medições de desempenho são frequentemente usadas para a melhoria da competitividade e de lucratividade dos sistemas de manufatura. Medições de desempenho mais apropriadas asseguram aos gestores uma perspectiva a longo prazo que permite alocar os recursos de maneira mais eficiente.

Segundo Slack et al (1997), todas as partes de qualquer empresa têm seus próprios papéis para desempenhar para se chegar ao sucesso. Sendo assim, para a empresa se tornar cada vez mais competitiva, a função produção pode auxiliar no papel estratégico da mesma. De acordo com esses mesmo autores, os objetivos básicos da função produção são: apoio para estratégia organizacional, ou seja, desenvolver seus recursos para que forneçam condições necessárias para permitir que a organização atinja seus objetivos estratégicos; implementadora da estratégia organizacional, pois a maioria das empresas possui algum tipo de estratégia, mas é a produção que a coloca em prática e, por último, tem a função de impulsionadora da

estratégia de produção dando-lhe vantagem competitiva em longo prazo. Diferentes partes da empresa causam efeitos diferentes na habilidade da empresa prosperar.

Por outro lado, Gardiner, Blackstone e Gardiner (1994), de acordo com a filosofia do gerenciamento das restrições desenvolvida por Goldratt, afirmam que as restrições determinam o desempenho de um sistema e que qualquer sistema possui restrições. Esses autores afirmam também que restrição é qualquer fator ou recurso que limita o desempenho do sistema alcançar sua meta. Segundo Goldratt (1990), a TOC afirma que a força do sistema só será melhorada se a força da restrição do sistema for melhorada e que, ao contrário do pensamento convencional, as restrições são vistas como algo positivo, pois podem ser elevadas, ou seja, melhoradas e ter sua capacidade produtiva aumentada.

De acordo com Goldratt e Cox (1994), a maioria das empresas preocupa-se em resolver problemas locais, os quais não têm impactos significantes no resultado. Por isso a importância da visão sistêmica e da definição da meta da empresa. A razão da existência das organizações é determinada pela sua meta, que no caso de uma empresa com fins lucrativos, é ganhar dinheiro agora e no futuro. A partir desta definição, pode-se identificar quais os processos que realmente influenciam no objetivo da organização e assim descobrir suas restrições.

Hansen (2006) afirma que algumas fábricas alcançam e mantêm um alto nível de produtividade e com baixos custos de produção, pois muitas vezes utilizam uma abordagem para identificar as principais melhorias a fazer e utilizam equipes para eliminar a causa raiz dos problemas, que de certa forma, impede a fábrica de buscar continuamente maiores níveis de eficácia. Nesse sentido, essas empresas vêm trabalhando com a constante eliminação de desperdícios, das causas raízes dos problemas e das atividades que não agregam valor aos produtos, ou seja, buscam trabalhar com o conceito bastante explorado pelas empresas nos últimos anos que é o conceito de manufatura enxuta.

Segundo Taj e Berro (2006), manufatura enxuta significa “produzir sem desperdício”. Segundo esses autores, desperdício é qualquer coisa além da mínima quantidade de equipamentos, materiais, componentes e tempo de trabalho que são absolutamente essenciais para a produção. A manufatura enxuta é focada em redução de desperdícios na cadeia de valores e conceitua como desperdício todos os possíveis trabalhos ou atividades erradas, não somente os produtos defeituosos.

Em um ambiente enxuto, todas as operações estão trabalhando na mesma velocidade do *takt time* com nenhum ou pulmões muito pequenos. Isso resulta em uma margem muito pequena de erros e, conseqüentemente, assim que um recurso se torna um gargalo, este imediatamente reduz a produção do sistema. Neste sentido, uma variação no desempenho da restrição do sistema produtivo também poderia ser monitorada caso atingisse patamares inferiores a faixa de desempenho desejável (TAJ e BERRO, 2006).

Slack et al (1997) afirmam que o desempenho de uma empresa está ligado ao gerenciamento simultâneo dos seus recursos e será tanto melhor quanto mais integrado estiverem tais recursos dentro do próprio sistema. Sendo assim, deve-se dar uma atenção especial ao desempenho dos sistemas de manufatura, que precisa ser medido, avaliado e desta avaliação gerar procedimentos que permitam corrigir distorções.

A eficiência global dos equipamentos é um indicador que surgiu na metodologia TPM – *Total Productive Maintenance*. Esse indicador também é conhecido na literatura internacional como OEE – *Overall Equipment Effectiveness* e é uma ferramenta utilizada para medir as principais perdas dos equipamentos. A utilização do indicador OEE permite que as empresas analisem as reais condições da utilização de seus ativos. Estas análises das condições ocorrem a partir da identificação das perdas existentes em ambiente fabril, envolvendo índices de disponibilidade de equipamentos, desempenho e qualidade (NAKAJIMA, 1989).

De acordo com Hansen (2006), um sistema de medição correto e a gestão com parâmetros-chaves contribuem para aumentar a produtividade tanto na área quanto na planta. Para esse autor, o método proposto pelo OEE ajuda a entender melhor como está o desempenho da área de manufatura e identificar qual é a máxima eficácia possível.

Sendo assim, o trabalho proposto mostra através de uma pesquisa-ação, como o indicador OEE pode ser utilizado como ferramenta de medição de restrições físicas para as cinco etapas do processo de melhoria da TOC, já que o mesmo auxilia na identificação dos desperdícios do gargalo do sistema de manufatura, identificar suas perdas, validar ganhos obtidos e passar para o próximo passo – dando início a um novo ciclo de PDCA em outro gargalo.

A principal justificativa para o tema proposto está apoiada na dificuldade de analisar as condições reais de utilização dos recursos produtivos. Estas dificuldades tendem a impedir a adequada utilização dos recursos produtivos que tem caráter estratégico na busca de redução de custos e de investimentos em ativos imobilizados, bem como na melhoria e manutenção da produtividade econômica.

Este trabalho tem como problema de pesquisa analisar e propor uma sistemática de como relacionar e quantificar os desperdícios em uma restrição física em um ambiente de manufatura enxuta. O objetivo principal desse trabalho consiste em responder a seguinte questão: Qual o impacto da implementação do indicador OEE em um ambiente enxuto e que utiliza a TOC para trabalhar com a eliminação de desperdícios e elevação do gargalo do sistema produtivo?

1.2 Objetivos

1.2.1 Geral

Propor e analisar um método que identifique as fases de um projeto de elevação da restrição, utilizando os passos propostos na TOC por meio do indicador OEE.

1.2.2 Específico

Contribuir com a verificação da aplicação do OEE como ferramenta de auxílio de gestão das restrições em ambientes de manufatura enxuta.

1.3 Limitações

Este trabalho foi elaborado através de uma pesquisa-ação em uma única empresa e em apenas uma linha de produção, implicando na limitação de modelos para a análise pretendida. Também consistem em limitações do trabalho os resultados obtidos, pois se restringem ao objeto de estudo e o período de tempo analisado, já que este consistiu em um tempo de aproximadamente seis meses.

1.4 Metodologia

Segundo Marconi e Lakatos (2006), o método é o conjunto das atividades sistemáticas e racionais que, com maior segurança e economia, permite alcançar o objetivo, conhecimentos válidos e verdadeiros, traçando o caminho a ser seguido, detectando erros e auxiliando as decisões do pesquisador.

De acordo com o objetivo geral deste trabalho, a pesquisa científica aqui realizada caracteriza-se como uma pesquisa de natureza aplicada e com objetivo exploratório. Aplicada porque, segundo Appolinário (2006), a pesquisa aplicada caracteriza-se por seu interesse prático, isto é, que os resultados sejam aplicados ou utilizados imediatamente na solução de problemas que ocorrem na realidade. E com objetivo exploratório, pois visa proporcionar maior familiaridade com o tema com vistas de torná-lo explícito ou a construir hipóteses. E também envolve o levantamento bibliográfico, entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o tema pesquisado e análise de exemplos que estimulem a compressão.

Este trabalho aborda o tema como pesquisa qualitativa, isto porque Bryman (1989) estabelece que a abordagem qualitativa dê ênfase à forma de captar a perspectiva dos indivíduos que são objeto do estudo. Segundo esse autor, a pesquisa qualitativa não é adversa à quantificação e pesquisadores qualitativos podem incluir procedimentos de enumeração em suas investigações. Ainda para esse autor, a pesquisa qualitativa evita a noção de que o pesquisador é a fonte do que é relevante e importante em relação ao domínio estudado. Assim, o pesquisador qualitativo procura eleger o que é importante para os indivíduos pesquisados e qual a interpretação deles em relação ao ambiente em que trabalham.

A metodologia utilizada neste trabalho é a pesquisa-ação, já que esta se mostrou o método de pesquisa mais apropriado quando comparada com o objetivo desse trabalho - analisar e propor uma sistemática que identifique as fases de um projeto de elevação da restrição, utilizando os passos propostos na TOC por meio do indicador OEE. Tripp (2005) afirma que a pesquisa-ação é um termo genérico para qualquer processo que seja um ciclo no qual se aprimora a prática pela oscilação sistemática entre agir no campo da prática e investigar a respeito dela. Planeja-se, implementa-se, descreve-se e avalia-se uma mudança

para melhora da prática, aprendendo mais, no correr do processo, tanto a respeito da prática quanto da própria investigação. Ainda segundo esse autor, a pesquisa-ação é uma forma de investigação-ação que utiliza técnicas de pesquisa para informar a ação que se decide tomar para melhorar a prática. Coghlan e Brannick (2001) afirmam que a pesquisa-ação é apropriada quando as questões relacionam a descrição de um desdobramento de séries de ações distribuídas dentro de um grupo, comunidade ou organização para entender, como um membro do grupo, como e porque suas ações podem mudar ou melhorar o trabalho em alguns aspectos de um sistema e entender o processo de mudança ou melhoria, segundo as regras do aprendizado.

1.5 Estrutura do trabalho

O primeiro capítulo apresenta a dissertação através: da justificativa; problema de pesquisa; dos objetivos: geral e específicos; da metodologia de pesquisa; da estrutura do texto.

A revisão bibliográfica é realizada no segundo capítulo, onde se estabelece a base conceitual da pesquisa: Sistema Toyota de Produção (TPS – *Toyota Production System*), Teoria das Restrições (TOC – *Theory of Constraints*) e Eficiência Global de Equipamentos (OEE – *Overall Equipment Effectiveness*). Para finalizar este capítulo, algumas considerações são realizadas sobre as vantagens de se utilizar o indicador OEE para quantificar os desperdícios em uma restrição de um ambiente de manufatura enxuta.

No capítulo três apresentam-se a pesquisa-ação e os resultados obtidos. São descritos as observações e os dados coletados durante a pesquisa de campo, os ciclos da pesquisa-ação e introduzidas à análise e as considerações a respeito desse trabalho, o que conduz às principais conclusões.

O capítulo quatro apresenta as conclusões desse trabalho, bem como apresenta propostas para trabalhos futuros.

O quadro 1.1 apresenta a síntese desse trabalho, relacionando os principais tópicos e suas aplicações.

Tópico	Aplicação
Justificativas	<p>Atualmente, com a economia globalizada e com a grande competitividade do mercado, as empresas vêm procurando se adequar cada vez mais às exigências dos clientes. Produzir cada vez mais, com menos recursos e com maior velocidade, passaram a ser desafios comuns para as empresas que se preocupam em permanecer no mercado. Segundo Tangen (2003), medições de desempenho são frequentemente usadas para a melhoria da competitividade e de lucratividade dos sistemas de manufatura. Gardiner, Blackstone & Gardiner (1994), de acordo com a filosofia do gerenciamento das restrições desenvolvida por Goldratt, afirmam que as restrições determinam o desempenho de um sistema e que qualquer sistema possui restrições. Esses autores afirmam também que restrição é qualquer fator ou recurso que limita o desempenho do sistema alcançar sua meta. Segundo Taj e Berro (2006), manufatura enxuta significa “produzir sem desperdício”. Segundo esses autores, desperdício é qualquer coisa além da mínima quantidade de equipamentos, materiais, componentes e tempo de trabalho que são absolutamente essenciais para a produção. Segundo Nakajima (1989), a eficiência global dos equipamentos é um indicador que surgiu na metodologia TPM – <i>Total Productive Maintenance</i>. - e é conhecido na literatura internacional como OEE – <i>Overall Equipment Effectiveness</i>. OEE é uma ferramenta utilizada para medir as principais perdas dos equipamentos e a utilização do indicador OEE permite que as empresas analisem as reais condições da utilização de seus ativos. Estas análises das condições ocorrem a partir da identificação das perdas existentes em ambiente fabril, envolvendo índices de disponibilidade de equipamentos, desempenho e qualidade. De acordo com Hansen (2006), um sistema de medição correto e a gestão com parâmetros-chaves contribuem para aumentar a produtividade tanto na área quanto na planta. Para esse autor, o método proposto pelo OEE ajuda a entender melhor como está o desempenho da área de manufatura e identificar qual é a máxima eficácia possível. A principal justificativa para o tema proposto está apoiada na dificuldade de analisar as condições reais de utilização dos recursos produtivos. Estas dificuldades tendem a impedir a adequada utilização dos recursos produtivos que tem caráter estratégico na busca de redução de custos e de investimentos em ativos imobilizados, bem como na melhoria e manutenção da produtividade econômica. Este trabalho apresenta como contribuição científica, o estudo e análise de uma sistemática de como relacionar e quantificar os desperdícios em uma restrição física em um ambiente de manufatura enxuta.</p>
Perguntas básicas (problema científico)	Qual o impacto da implementação do indicador OEE em um ambiente enxuto e que utiliza a TOC para trabalhar com a eliminação de desperdícios e elevação do sistema produtivo?

Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> • Analisar e propor uma sistemática que identifique as fases de um projeto de elevação da restrição, utilizando os passos propostos na TOC por meio do indicador OEE; • Contribuir com a verificação da aplicação do OEE como ferramenta de auxílio de gestão das restrições em ambientes de manufatura enxuta.
Unidade de análise (obtenção de dados)	<ul style="list-style-type: none"> • Empresa de produção com ênfase na manufatura enxuta, que possui interesse e apoio da alta administração para implementar a medição do indicador OEE e que disponibilizasse os dados e informações para análise.
Metodologia de pesquisa	<ul style="list-style-type: none"> • A pesquisa científica aqui realizada caracteriza-se como uma pesquisa de natureza aplicada e aborda o tema como pesquisa qualitativa. Objetivo exploratório e o método adotado será a pesquisa-ação.
Critérios de interpretação dos dados	<ul style="list-style-type: none"> • Dados oriundos da empresa objeto de estudo, apresentados detalhadamente na pesquisa-ação, coletados através de entrevistas formais e informais, <i>brainstorming</i> com os colaboradores da empresa, relatórios gerenciais, documentos e observações da pesquisadora.

Quadro 1.1 – Síntese da pesquisa

Fonte: Elaborada pela pesquisadora

CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo contém a revisão bibliográfica sobre os principais tópicos relacionados a este trabalho. Sendo assim, primeiramente apresenta-se o Sistema Toyota de Produção (TPS), a teoria das restrições (TOC) e, em seguida, o tema eficiência global de equipamentos (OEE) é explorado. Para finalizar este capítulo, algumas considerações são realizadas sobre as vantagens de se utilizar o indicador OEE para quantificar os desperdícios em uma restrição de um ambiente de manufatura enxuta.

2.1. O sistema toyota de produção

O termo produção enxuta (*lean production*) foi proposto por pesquisadores americanos de forma a traduzir ao mundo ocidental as técnicas utilizadas pela Toyota, introduzidas por Womack, Jones e Roos (1992). Womack e Jones (2004) ampliaram o termo para pensamento enxuto (*lean thinking*), enfatizando que o mesmo se aplica a toda empresa.

Segundo Ohno (1997), o Sistema Toyota de Produção (TPS) evoluiu da necessidade, já que as restrições do mercado exigiram a produção de pequenas quantidades de muitas variedades sob condições de baixa demanda, um destino que a indústria japonesa enfrentou em um período pós-guerra. Ainda segundo esse autor, estas restrições serviram como critério para testar se os fabricantes de carros japoneses poderiam se estabelecer e sobreviver competindo com os sistemas de produção e de vendas em massa já estabelecidos na Europa e Estados Unidos.

Deve haver centenas de pessoas pelo mundo que podem aumentar a produtividade e a eficácia através do aumento da quantidade da produção. (...) Mas poucas pessoas no mundo podem aumentar a produtividade quando as quantidades de produção diminuem. Com até uma

destas pessoas, apenas o caráter de uma operação de negócios será bastante mais forte. Ohno (1997, p. 125).

Dando continuidade aos trabalhos de Ohno, Sánchez e Pérez (2001) afirmam que a produção enxuta é uma estrutura conceitual baseada em poucos princípios e técnicas: times multifuncionais, eliminação de atividades que não agregam valor, melhoria contínua, produção e entrega no momento exato (*Just in time*) e integração com os fornecedores. Esses autores afirmam que a produção enxuta implica na descentralização das responsabilidades dos trabalhadores da linha de produção e um decréscimo dos níveis de hierarquia na empresa.

Taj e Berro (2006) afirmam que manufatura enxuta é uma filosofia de produção que significa produzir sem desperdício. Segundo esses autores, desperdício é qualquer coisa além da mínima quantidade de equipamentos, materiais, componentes e tempo de trabalho que são absolutamente essenciais para a produção. A manufatura enxuta é focada em redução de desperdícios na cadeia de valores e conceitua como desperdício todos os possíveis trabalhos ou atividades erradas, não somente os produtos defeituosos.

Dias (2003) afirma que a produção enxuta é baseada em princípios e técnicas. Alguns deles afetam as mais diversas funções da empresa e se estendem até os clientes e fornecedores.

O *lean manufacturing* é uma filosofia que visa a eliminação dos desperdícios, onde há necessidade de instituir-se um “pensamento enxuto”, ajudando as empresas a especificarem claramente o valor, alinhando todas as atividades que criam valor para um produto específico ao longo de uma cadeia de valor, fazendo com que esse valor flua uniformemente, de acordo com as necessidades do cliente (SALGADO, 2008)

Termo	Autor	Conceito
Eficácia	Maximiano (2008)	A palavra eficácia é usada para indicar que a organização realiza seus objetivos. E quanto mais alto o grau de realização dos objetivos, mais a organização é eficaz. Eficácia é o conceito de desempenho que envolve a comparação entre objetivos (desempenho esperado) e resultados (desempenho realizado). Eficácia significa o grau ou taxa de realização dos objetivos finais da organização: satisfação dos clientes, satisfação dos acionistas, impacto na sociedade e aprendizagem organizacional.
Desempenho	Ron e Rooda (2005),	Segundo esses autores, o desempenho é a relação entre o tempo teórico para completar o trabalho planejado e o tempo real (medido) de produção real. A velocidade de processamento pode variar para o processamento de um mesmo produto, devido às diferenças de tempo de carregamento e preparação das máquinas feitas pelos operadores ou devido às pequenas paradas que não são reportadas como paradas ou por tempo de trabalho em vazio que são consideradas como tempo operacional.
Eficiência	Ohno (1997)	Eficiência é realizar um trabalho usando os melhores métodos conhecidos.
	Maximiano (2008)	A eficiência é a palavra usada para indicar que a organização utiliza produtivamente ou de maneira econômica, seus recursos. Quanto mais alto o grau de produtividade ou economia na utilização desses recursos, mais eficiente a organização é. Ou seja, para esse autor, a eficiência está relacionada com a ausência de desperdícios.
Produtividade	Maximiano (2008)	Para esse autor, o critério mais simples para medir a eficiência de um processo, organização ou sistema é a produtividade. Sendo assim, a produtividade é definida como a relação entre os recursos utilizados e os resultados obtidos (ou produção).
	Gaither e Frazier (2002)	A produtividade significa a quantidade de produtos ou serviços produzidos com os recursos utilizados. A produtividade de um recurso é a quantidade de produtos ou serviços produzidos em um intervalo de tempo dividida pela quantidade necessária de recursos.

Rendimento	Oechsner <i>et al</i> (2003)	O rendimento é dado pela divisão do total de peças boas produzidas pelo total de peças produzidas.
	Araújo <i>et al</i> (2006)	Para esses autores, o rendimento tem o aspecto técnico, sendo uma medida de desempenho baseada em padrões pré-estabelecidos e utilizada para avaliar resultados. Pode ser apresentado sob duas formas: o técnico, que seria a avaliação do rendimento através de padrões e normas pré-estabelecidas com o auxílio de ferramentas de comparação e análise; e o técnico-econômico, uma avaliação que engloba o rendimento técnico e variáveis externas ao processo produtivo, sendo observado o resultado efetivo e suas variações.
	Schramm e Brito (2003)	O rendimento oferece uma medição do desempenho do processo, porém não levam em consideração algumas paradas de máquinas que são importantes para os atuais métodos de medição do desempenho do processo fabril. Segundo esses autores, esse tipo de medição não considera as paradas de máquina como setup, velocidade de máquina, etc., as quais são importantes para o atendimento de objetivos maiores que o simples custo do processo.

Quadro 2.1 - Termos utilizados no trabalho

O presente trabalho utiliza o termo eficiência global dos equipamentos para a tradução do indicador OEE, pois se trata de um indicador que analisa a real utilização dos equipamentos para produzir peças boas. Ou seja, para o estudo realizado, considera-se que a diferença entre o tempo disponível para produzir e o tempo efetivo de produção é considerada um desperdício, já que implica na não utilização do recurso produtivo como um todo.

Womack e Jones (2004) definem a manufatura enxuta como uma abordagem que busca uma forma melhor de organizar e gerenciar os relacionamentos de uma empresa com seus clientes, cadeia de fornecedores, desenvolvimento de produtos e operações de produção, segundo a qual é possível fazer cada vez mais com menos tempo (menos equipamento, menos esforço humano, menos tempo, etc.).

O objetivo mais importante do TPS tem sido aumentar a eficiência da produção pela eliminação consistente e completa de desperdícios através dos dois pilares que sustentam esse

sistema: o *Just-in-time* (um processo onde as partes necessárias corretas à montagem alcançam a linha de montagem no momento em que são necessários e somente na quantidade necessária) e a automação (automação com toque humano, que dá às máquinas inteligência para parar quando verifica alguma situação anormal). A automação desempenha um papel duplo, pois elimina a superprodução, um desperdício significativo na manufatura e evita a produção de produtos defeituosos (OHNO, 1997).

A abordagem a manufatura enxuta engloba ampla variedade de práticas gerenciais, incluindo *Just in time*, sistemas de qualidade, manufatura celular, entre outros. O ponto fundamental da manufatura enxuta é que essas práticas devem trabalhar de maneira sinérgica para criar um sistema de alta qualidade que fabrica produtos no ritmo que o cliente deseja, sem desperdícios (SHAH e WARD, 2003)

Ainda segundo Ohno (1997), é necessário um sistema de gestão total que desenvolva a habilidade humana até sua mais plena capacidade, a fim de realçar a criatividade e a produtividade, para utilizar bem instalações e máquinas e eliminar todo o desperdício com o objetivo de redução de custos.

De acordo com Womack, Jones e Roos (1992), a grande diferença entre o produtor enxuto e o produtor em massa é a constante busca pela perfeição, seja ela no processo ou produto. Segundo esses autores, o produtor enxuto combina as vantagens das produções artesanal e em massa, evitando os altos custos dessa primeira e a rigidez desta última. Isto é, emprega na produção enxuta equipes de trabalhadores multiquificados em todos os níveis da organização, além de máquinas altamente flexíveis e cada vez mais automatizadas, para produzir imensos volumes de produtos de ampla variedade.

Além disso, a estabilidade dos processos é a base de todo o TPS. Somente processos capazes, sob controle e estáveis podem ser padronizados de forma a garantir a produção de

itens livres de defeitos (resultante do pilar *Jidoka*), na quantidade e momento certo (resultantes do pilar JIT). A estabilidade dos processos é um pré-requisito para a implementação do TPS. O planejamento da produção e das próprias ações de melhoria só pode ser executado em um ambiente sob controle e previsível. O processo de identificação do desperdício ao longo da cadeia de valor deve ser conduzido em condições estáveis, caso contrário o que se verifica não é solução de problemas de forma sistemática, mas prática de resolver problemas do dia-a-dia (SILVA, 2006).

Para Taj e Berro (2006), a manufatura enxuta requer uma mudança cultural para o pensamento enxuto, identificando e quantificando as atividades que agregam e as que não agregam valor e essa transformação requer a participação e o treinamento de todos da organização. Para Ohno (1997), o desperdício se refere a todos os elementos de produção que só aumentam os custos sem agregar valor – por exemplo, excesso de pessoas, de estoques e de equipamentos. Isto porque, segundo esse autor, o excesso de operários, equipamentos e produtos apenas aumentam os custos e causam desperdícios secundários. Por exemplo, com operários demais, inventa-se trabalho desnecessário que, por sua vez, aumenta o uso de energia e de materiais e isso é chamado de custo secundário.

A perseguição constante pela eliminação das atividades que não agregam valor ao processo/produto fez com que a Toyota se transformasse no principal exemplo a ser citado quando se refere às empresas *lean*, isto é, empresas enxutas com produtos de alto conceito de qualidade. A produção enxuta, também conhecida como produção puxada, começou a tomar vulto com a necessidade de possuir um diferencial em relação aos demais concorrentes e em função de um mercado que começou a ficar cada vez mais competitivo e exigente (INVERNIZZI, 2006).

Forza (1996) identifica as práticas de organização de trabalho aplicadas na manufatura enxuta testando algumas hipóteses relativas à interação, organização do trabalho e mostra que as empresas que adotaram a manufatura enxuta se interessam mais por questões relacionadas a organização do trabalho e pessoas do que as empresas tradicionais.

Ohno (1992) considera sete desperdícios para o TPS e estes são apresentados no quadro 2.2. Os sete desperdícios apresentados tem impacto direto no desempenho do sistema de produção, pois aumentam o custo da produção e não agregam nenhum valor ao produto final.

Desperdício	Descrição
Superprodução	Produzir excessivamente ou cedo demais, resultando em um fluxo pobre de peças e informações, ou excesso de inventário;
Espera	Longos períodos de ociosidade de pessoas, peças e informação, resultando em um fluxo pobre, bem como em lead times longos;
Transporte excessivo	Movimento excessivo de pessoas, informação ou peças resultando em dispêndio desnecessário de capital, tempo e energia;
Processos inadequados	Utilização do jogo errado de ferramentas, sistemas ou procedimentos, geralmente quando uma aproximação mais simples pode ser mais efetiva;
Inventário desnecessário (estoque)	Armazenamento excessivo e falta de informação ou produtos, resultando em custos excessivos e baixo desempenho do serviço prestado ao cliente;
Movimentação desnecessária	Desorganização do ambiente de trabalho, resultando em baixo desempenho dos aspectos ergonômicos e perda freqüente de itens;
Produtos defeituosos	Problemas freqüentes nas cartas de processo, problemas de qualidade do produto, ou baixo desempenho na entrega.

Quadro 2.2 – Sete desperdícios para o TPS

Fonte: Ohno (1992)

Já Taj e Berro (2006) complementam o trabalho de Ohno: classificaram e acrescentaram mais um tipo de desperdício apresentado no quadro 2.3. Para esses autores a falta de

conhecimento dentro de uma empresa pode acarretar em outros tipos de desperdícios, tais como produtos defeituosos, movimentação desnecessária, superprodução, espera etc.

Desperdício	Descrição
Falta de conhecimento	Para Taj e Berro (2006) Pessoas fazendo trabalhos que não estão confiantes sobre o melhor modo de fazer as tarefas.
Desperdícios no processo de desenvolvimento de produtos (PDP)	Segundo Rozenfeld <i>et al</i> (2006) Lean development é uma abordagem para a gestão do desenvolvimento de produto baseada nos princípios da manufatura enxuta, cujos princípios básicos são a busca pela maximização do valor agregado no produto ao cliente, diminuição dos desperdícios e busca da melhoria contínua em direção a perfeição.

Quadro 2.3 – Oitavo e nono desperdícios segundo Taj e Berro (2006) e Rozenfeld et al (2006)

Fonte: Taj e Berro (2006)

De acordo com Borchardt (2005), os conceitos relativos a sistemas enxutos têm sido aplicados pela indústria automotiva e manufatura em geral e até mesmo, ainda de forma mais incipiente, em processos administrativos ou empresas de outros segmentos de atuação.

Com o objetivo de mensurar os desperdícios, pode se destacar os seguintes trabalhos publicados relacionados à melhoria da eficiência de produção e a redução de desperdícios.

De acordo com Moselli et al (2004), o *Rolled Throughput Yield (RTY)* é um método de trabalho que busca medir a eficiência e a produtividade durante o processo, que proporciona melhorias na qualidade do produto e que apresenta um plano de ação em função dos maiores problemas levantados em uma linha de produção. Segundo ainda esses autores, esse método é utilizado amplamente em empresas que possuem processos com operações consecutivas, repetitivas e padronizadas devido a algumas particularidades como a codificação dos defeitos ocorridos.

De acordo com Salgado (2008), a análise de fluxo de processos é uma ferramenta para avaliar uma operação em termos de sequência de passos desde os recursos de entrada no

sistema até as saídas e acredita-se que o mapeamento permita determinar e focar o cliente, eliminar atividades que não adicionam valor e reduzir a complexidade dos processos.

Para Solimon (1998) o mais importante elemento para a abordagem de processo é o seu mapeamento, pois torna mais fácil determinar onde e como melhorar. Seguindo esse conceito, tem-se o mapeamento do fluxo de valor. De acordo com Rother e Shook (2000), mapeamento do fluxo de valor é uma ferramenta que possibilita uma visualização mais integrada entre os processos, proporcionando a implementação de melhorias sistemáticas e permanentes, que tem como objetivo a eliminação dos desperdícios e a identificação de suas fontes.

Sánchez e Pérez (2001) apresentam um trabalho que consiste em um estudo sobre o uso de indicadores enxutos em empresas de manufatura. Esses autores apresentam os indicadores enxutos nos seguintes segmentos: eliminação de atividades que não agregam valor, melhoria contínua, times multifuncionais, produção e entrega *Just in time*, integração com os fornecedores e sistema de informação flexível. De acordo ainda com esses autores, um dos indicadores relacionados às atividades que não agregam valor é o percentual de manutenção preventiva em relação à manutenção total. Isto porque a manutenção preventiva ajuda a reduzir o tempo gasto com manutenção corretiva (devido às falhas), melhora a eficiência dos equipamentos e proporciona uma melhoria contínua dos mesmos.

Filho e Fernandes (2004) citam que apesar de o objetivo da manufatura enxuta ser o chão de fábrica, esta tem preocupações mais amplas referentes também a empresa e a cadeia de valor. Também afirmam que os estudos realizados mostram que a manufatura enxuta não é a solução para todos os males das empresas e que ela deve implantada de acordo com os objetivos estratégicos da empresa.

Allen (2000) realiza alguns estudos de caso e comprova que cada implantação da manufatura enxuta é única, cabendo à empresa escolher qual princípio deve enfatizar, de acordo com os seus objetivos estratégicos.

O quadro 2.4 faz uma análise das limitações das abordagens para identificação de desperdícios.

Abordagem	Autor	Limitações
Indicadores de desempenho <i>Lean</i>	Sánchez e Pérez (2001)	Propõe vários indicadores de desempenho que tem como objetivo quantificar os desperdícios. São propostos vários indicadores e suas aplicações dependem do tamanho da organização e da sua estratégia adotada.
<i>Rolled Throughput Yield (RTY)</i>	Moselli et al (2004)	Esse método identifica e quantifica os desperdícios de qualidade em linhas de produção padronizadas e repetitivas. Não contempla outros tipos de desperdícios de um sistema de produção.
Mapeamento do fluxo de valor	Rother e Shook (2000)	Permite uma visualização mais integrada entre os processos, proporcionando a implementação de melhorias sistemáticas e permanentes, que tem como objetivo a eliminação dos desperdícios e a identificação de suas fontes, porém dá apenas uma visão macro dos desperdícios sem uma proposta para sua quantificação.
Pensamento enxuto (<i>Lean Thinking</i>)	Womack e Jones (2004)	Essa abordagem afirma que a eliminação de desperdício pode ser ampliada por todos os departamentos da empresa, porém não propões um método que quantifica os desperdícios e, por isso, não enfatiza a verificação da eficácia das ações.

Quadro 2.4 – Abordagem para identificação dos desperdícios

Brown (1998) realiza um estudo de múltiplos casos sobre as relações entre qualidade, comprometimento da gerência e estratégia. Este estudo conclui basicamente que uma visão

estratégica e um grande comprometimento da gerência melhoram muito o desempenho das técnicas e ferramentas da qualidade dentro do contexto de manufatura enxuta.

Katayama e Bennett (1999) comparam a manufatura enxuta com outros dois importantes conceitos dentro da gestão da produção: manufatura ágil e manufatura adaptável, dentro do contexto japonês. Os resultados mostram que as empresas japonesas estão tentando alcançar adaptabilidade por meio de atividades ágeis. Prince e Kay (2003) propõem uma metodologia em que alguns princípios enxutos e ágeis trabalham em conjunto e Hampson (1999) trabalha com a necessidade de balanceamento entre os conceitos enxutos da produção sincronizada e da melhoria contínua para que a força de trabalho não se sinta sobrecarregada.

2.2. Teoria das restrições (TOC- Theory of constraints)

Segundo Boyd e Grupta (2004), as raízes do gerenciamento das restrições surgiram com o desenvolvimento de um pacote de software de programação conhecido como *Optimized Production Technology* (OPT) no final dos anos 70. Desde então, o gerenciamento das restrições tem envolvido desde o método de programação da manufatura até uma filosofia de gerenciamento que pode ser usada para entender e melhorar o desempenho de sistemas complexos. Goldratt (1990) afirma que a o gerenciamento de restrições é uma teoria para o gerenciamento de organizações de manufatura.

Inman, Sale e Green (2009) definem TOC como sendo uma filosofia de gerenciamento que promove um foco para melhoria contínua, resultando em uma melhoria no desempenho organizacional.

Pegels e Watrous (2005) afirmam que gargalo é uma operação que não possui capacidade suficiente para manter os níveis de produção desejados. Por essa razão, os gargalos geralmente têm uma quantidade de peças de estoques em processos aguardando serem processadas.

Para Motwani e Vogelsang (1996), a restrição pode ser um recurso físico - como um time em um centro de trabalho específico ou uma matéria-prima ou dinheiro - ou não físico como política da empresa ou regulamentação ou o próprio mercado.

Watrous e Pegels (2005) afirmam que embora a teoria das restrições seja considerada relativamente simples e direta, a aplicação desse conceito não foi simples ou fácil. Ainda de acordo com esses autores, como um resultado de anos de pesquisas nesse tema tem-se ampliado sua influência e utilização.

Ferreira (2007) afirma que hoje em dia a TOC é composta de três campos: os processos de raciocínio de um lado, o desempenho do sistema e os aplicativos específicos, como logística de produção, do outro.

Watson, Blackstone e Gardiner (2007) afirmam que a TOC evoluiu de um simples software de programação da produção para uma série de ferramentas integradas de administração que abrangem três áreas: logística/produção; mensuração de desempenho e resolução de problemas por meio de processos de raciocínio.

Os processos de raciocínio ultrapassaram os limites da administração e são usados em muitas outras áreas do conhecimento humano e eles formam a base de toda a teoria. Para Ferreira (2007), a TOC não se trata apenas de uma nova rotina de trabalho, mas sim, de uma nova maneira de se interpretar os fatos e todo o sistema.

Goldratt publicou uma série de novelas para ilustrar o gerenciamento das restrições em aplicações como gestão de operações e financeira, marketing, distribuição e vendas, planejamento estratégico, gerenciamento de projetos, planejamento dos recursos da empresa e o gerenciamento da cadeia de suprimentos.

Segundo Siha (1999), a filosofia da teoria das restrições pode ser aplicada em decisões operacionais todos os dias, assim como um esforço para melhoria contínua.

Em 1984, Goldratt publicou a sua primeira novela que revolucionou o pensamento gerencial mundial: "A Meta". Este livro apresentou ao mundo sua proposta para um processo de melhoria contínua, chamada de "Teoria das Restrições" (TOC - Theory of Constraints). Desde então, a TOC tem sido estudada, discutida, expandida e aplicada em inúmeros contextos, desde o chão de fábrica, logística, marketing, vendas, contabilidade, desenvolvimento de software, gestão de projetos, hospitais entre outros.

De acordo com Boyd e Grupta (2004), quando o mercado não é a restrição de uma empresa, a teoria sobre o gerenciamento das restrições diz que quanto maior o grau de produção, maior será o desempenho da organização. Para esses autores, as três dimensões para a orientação da produção são: paradigmas organizacionais, sistemas de medição de desempenho e de tomada de decisões. As empresas que desenvolvem essas três dimensões podem esperar um desempenho melhor do que aquelas que têm pouco ou nenhum trabalho direcionado para esses tópicos.

Simatupang, Wright e Sridharan (2004) afirmam que a TOC estimula os gestores a identificar o que pode impedi-los de atingir ou ir além da meta estabelecida – assim como as condições necessárias – e achar as soluções para superar essas limitações.

O gerenciamento de restrições é uma abordagem que planeja e controla a produção de produtos e serviços. Reconhecendo o papel que a restrição, ou o recurso limitante, é possível identificar o que ela desempenha na determinação da saída do sistema produtivo como um todo (FERREIRA 2007).

Goldratt (1990), diz que apesar da meta da organização ser “fazer dinheiro”, o significado de condições necessárias tais como qualidade do produto, satisfação do cliente, segurança do empregado e remuneração compatível não podem ser subestimadas.

Segundo ainda Goldratt (1990), a TOC diz que existem três caminhos para atingir a meta de ser ganhar dinheiro são:

- Aumentar a produção /ganho;
- Reduzir o inventário/investimento;
- Reduzir a despesa operacional.

Segundo Rahman (1998), a concepção da TOC pode ser resumida em dois tópicos:

1. Todo sistema deve ter pelo menos uma restrição: se este tópico não fosse verdade, então um sistema real como uma organização produtiva obteria lucros ilimitados. Para Goldratt (1990), uma restrição é qualquer coisa que limita um sistema de alcançar maior desempenho em relação às suas metas. Estas restrições podem ser físicas, como uma máquina com baixa capacidade produtiva, número de empregados insuficiente; ou podem ser não física como, por exemplo, restrições derivadas de políticas adotadas pelas organizações, posturas e comportamentos culturais. Sendo assim, por exemplo, uma empresa que não consegue vender tudo o que a restrição é capaz de produzir, tem como gargalo o mercado. Para esses casos, a maioria das restrições é relacionada à política, que ocorre quando uma companhia mantém as mesmas políticas enquanto o mundo muda.
2. A existência da restrição representa oportunidades de melhoria: ao contrário do pensamento tradicional, as restrições são positivas e não negativas. Porque as restrições determinam o desempenho do sistema, uma elevação gradual da restrição do sistema significa uma melhoria no desempenho do sistema.

Ainda para Rahman (1998), a TOC tem dois componentes principais. O primeiro componente refere-se à filosofia que sustenta os princípios da TOC. Ela consiste nas cinco etapas de melhoria contínua, metodologia de programação DBR (*drum-buffer-ropes*) e no sistema de gerenciamento de informações de estoques, que é usualmente referido como paradigma de logística da TOC. Já o segundo componente da TOC se refere a uma aproximação genérica para investigação, análises e resolução de problemas complexos chamado de processo de raciocínio. Esse processo é aplicado para responder lógica e sistematicamente às três perguntas essenciais para qualquer processo de melhoria contínua:

"O que mudar?", "Para o que mudar?" e "Como causar a mudança?". O uso específico dos processos de raciocínio pode melhorar significativamente as habilidades vitais para o gerenciamento, tais como: resolução ganha-ganha de conflitos, comunicação eficaz, habilidades para condução de equipes, delegação e capacitação e autonomia.

Há anos atrás, os pesquisadores começaram a estudar e a publicar trabalhos relacionados com o sentido de otimização da produção. Segundo Guerreiro (1999), a TOC reforça que a soma dos ótimos locais não é igual ao ótimo total e, nesse sentido, estabelece um conjunto de princípios aplicados à gestão das organizações:

1. Balancear o fluxo e não a capacidade. As atenções devem ser dirigidas ao fluxo de materiais e não sobre a capacidade instalada dos recursos. Também se identificam os gargalos do sistema, pois eles limitarão o seu fluxo. Goldratt e Cox (2002) definem que um gargalo é qualquer recurso cujo a capacidade é igual ou menor que a demanda imposta por ele e acrescentam que os gargalos não são necessariamente bons ou ruins e que estes devem ser usados para controlar o fluxo do sistema até o mercado.
2. A utilização de um recurso não gargalo não é determinado por sua disponibilidade, mas por alguma outra restrição do sistema.
3. A utilização do recurso não gargalo deve ser determinada por alguma outra restrição do sistema. A utilização e a ativação de um recurso não são sinônimos. A utilização de um recurso não-gargalo não é determinada pelo seu próprio potencial, mas por outra restrição do sistema. Goldratt e Cox (2002) explicam que utilizar um recurso significa fazer o uso dele de uma forma que o sistema caminhe em direção à meta. Ativar um recurso é como apertar o botão que ligar uma máquina, ela roda quer haja ou não um benefício gerado pelo seu trabalho.

4. Uma hora perdida no gargalo é uma hora perdida no sistema inteiro. Qualquer tempo gasto no recurso gargalo para a preparação de máquinas, produção de peças defeituosas ou produção de peças não solicitadas pelo mercado, diminui a capacidade de fluxo. Por isso, só existem benefícios na redução de setups nos recursos gargalos. Goldratt e Cox (2002) acrescentam que é necessário se certificar que o gargalo está trabalhando apenas com peças boas, retirando as que estão defeituosas. Se houver refugo de uma peça, antes dela chegar ao gargalo, o que se perderá é uma peça refugada. Mas se a peça for refugada depois que ela passar pelo gargalo, se perderá um tempo que não será recuperado.
5. Uma hora ganha em um recurso não gargalo não é nada, é só uma miragem. Todo o sistema trabalha em função de item gargalo, ou seja, qualquer esforço de redução no tempo de setup ou de redução no número de troca de ferramentas no recurso não gargalo, somente aumenta o tempo ocioso.
6. Os gargalos governam o ganho e o inventário. Os gargalos, além de determinarem o fluxo do sistema, determinam também os níveis de estoques, pois eles são dimensionados e localizados de forma a isolar os gargalos das flutuações estatísticas. As flutuações estatísticas são resultantes da ocorrência de uma série de eventos aleatórios ou fora de controle. A manufatura envolve o encadeamento de operações independentes, ou seja, determinada operação só pode ser executada quando a operação anterior na cadeia termina.
7. O lote de transferência pode não ser e, frequentemente, não deveria ser igual ao lote de processamento. O lote de transferência é sempre uma fração do lote de processamento. A divisão dos lotes permite reduzir o tempo de passagem dos produtos. Observa-se que a redução do lead time, neste recurso, só será uma

redução no lead time global, se o recurso em que foi aplicado o conceito de fracionamento do lote de transferência, for um recurso gargalo. Este fracionamento de lotes, quando aplicado aos recursos não gargalos serve apenas para antecipar a chegada de peças dos recursos gargalos no pulmão, fazendo com que fiquem à espera de seu processamento. Logo, o fracionamento dos lotes dos recursos não gargalos não implica na redução do lead time do processo global.

8. O lote de processamento deve ser variável e não fixo. A maioria dos sistemas tradicionais considera que o lote de processamento é igual em todas as operações, ou seja, não respeita a situação da fábrica e do tipo de operação. A TOC define que o tamanho dos lotes deve ser função da situação da fábrica e do tipo de operação.
9. Os programas devem ser estabelecidos, considerando-se todas as restrições simultaneamente e não sequencialmente. Os *lead times* são um resultado da programação e não podem ser assumidos a priori. A TOC considera que uma determinada ordem de produção, ao ganhar prioridade, ficará menos tempo na fila em que aguarda pela operação. Como o tempo de fila é um dos principais componentes dos *lead times* dos itens, estes podem variar, ocasionando transtornos no cumprimento dos prazos. A TOC aborda o problema, considerando de forma simultânea a programação de atividades e a capacidade dos recursos gargalo, definindo este como a sua prioridade.

Os princípios de trabalho da TOC fornecem o foco no processo de melhoria contínua e de acordo com o Goldratt (1990), os princípios consistem em cinco etapas:

1. Identificar a restrição: esta pode ser física (materiais, máquinas, pessoas e níveis de demanda) ou não física (ou administrativas);

2. Decidir como explorar a restrição: se a restrição é física, o objetivo é fazer a restrição mais eficaz possível. Uma restrição administrativa não pode ser explorada, mas sim eliminada e substituída por uma política que suporte o aumento de ganhos/produção.
3. Subordinar tudo a decisão do passo 2: isso significa que todos os outros componentes do sistema (não-restrições) devem se ajustar e trabalhar sincronizadamente para dar suporte a máxima eficácia da restrição. Nesta etapa está a maior mudança, pois os recursos que não são restrições devem trabalhar como se fossem a restrição. Caso isso não aconteça, ou seja, se os recursos que não são restrições trabalharem acima da capacidade da restrição, estes não estarão aumentando a produção do sistema e sim aumentando o inventário - o estoque em processo.
4. Elevar a restrição: se uma restrição existente continua sendo a mais crítica do sistema, esforços rigorosos nesta restrição irão melhorar o desempenho do sistema. Com a melhoria do desempenho da restrição, o potencial dos recursos não gargalos podem ser melhores explorados para melhorar o desempenho global do sistema. Eventualmente, o sistema irá encontrar uma nova restrição.
5. Se em qualquer uma das etapas anteriores a restrição for desfeita, deve-se retornar a etapa 1: Nesta etapa, é importante não deixar que a inércia se torne a próxima restrição. A primeira parte desta etapa faz da TOC um processo de melhoria contínua. A segunda parte é um lembrete de que nenhuma política (ou solução) é apropriada (ou correta) para sempre ou para qualquer situação. É crítico para a organização reconhecer as mudanças do ambiente de negócios, políticas de negócio tem que ser refinadas para levar em consideração essas

mudanças. A falha em implementar a etapa 5 deste processo pode levar a organização ao desastre.

Segundo Watrous e Pegels (2005), o princípio da TOC é identificar as restrições e focar esforços nos gargalos das operações porque eles são recursos que interferem em qualquer tentativa de melhoria de produtividade e de *output*. Eliminando os gargalos das operações, melhorias substanciais geram impacto automaticamente em todo o sistema. De acordo com esses autores, a TOC é relativamente simples, pois consiste no fato de identificar o gargalo e, então, agir onde necessário para a remoção do gargalo.

Para Ribeiro, Silveira e Qassim (2007), a TOC fornece uma estrutura apropriada para o gerenciamento e manutenção de ambientes industriais modernos. A TOC enfoca as restrições de capacidade e recursos em equipamentos e operações que determinam o desempenho do sistema industrial.

Ferreira (2007) diz que a ênfase fundamental das idéias de Goldratt é o alcance do que ele denomina meta da organização, ou seja, ganhar mais dinheiro por meio de uma gestão da produção adequada. O ponto central da teoria é que toda empresa, no processo de atingir sua meta, apresenta uma ou mais restrições. Se isso não ocorresse as organizações teriam lucro infinito. Uma restrição é definida como algo que restringe um melhor desempenho do sistema como o elo mais fraco da corrente. Assim, os pressupostos básicos da TOC são:

- Uma organização tem uma meta a alcançar;
- Uma organização é mais que a soma de suas partes;
- O desempenho de uma organização é limitada por poucas variáveis.

Gardiner, Blackstone e Gardiner (1994), afirmam que as medições de desempenho apropriadas são essenciais para o controle da organização. Trabalhadores de produção são tipicamente avaliados através medições de eficiência de desempenho, tais como desempenho

com relação ao tempo padrão ou taxas de produção. Esse tipo de medição motiva os trabalhadores a produzir o máximo de *output* em cada recurso. Em uma visão pessimista, esses indicadores motivam os trabalhadores a produzir mais peças do que atualmente é necessário ao invés de realizar setups para produzir peças que realmente são necessárias. Além disso, os recursos que não são restrições deveriam produzir apenas a quantidade suficiente para abastecer a restrição por um curto período de tempo. Qualquer excesso de produção pode ser considerado um estoque em processo e pode nunca ser vendido. O conceito por trás de se maximizar a eficiência local está ligado ao conceito de que quanto mais se produz, menor será o custo. Por isso há um comum entendimento nesse sentido de que cada recurso deve ter sua produção maximizada.

No entanto, ainda de acordo com Gardiner, Blackstone e Gardiner (1994), a medição de produtividade local não suporta a produtividade do sistema. De fato, o aumento de estoque em processo aumenta o lead time e os gastos com estoques, o que podem penalizar as datas de entrega do produto. Por este ponto de vista, as medições de produtividade local não são medidas consistentes para os objetivos financeiros da empresa. Utilizando deste conceito, Goldratt (1990) desenvolveu indicadores relacionados ao desempenho que são consistentes com os objetivos financeiros da empresa. Peças boas acabadas antes do prazo indicam aumento de custos de estocagem e ordens completas atrasadas com relação à programação ou à embarcação podem causar atrasos nos pagamentos e possíveis perdas de clientes.

Segundo Siha (1999), deve-se utilizar indicadores de desempenho para medir o desempenho do sistema com relação às suas metas. Goldratt e Cox (1994) sugerem três indicadores: Resultado ou *Throughput (T)*, que corresponde à taxa que cada sistema gera de dinheiro através das vendas; Estoque ou *Inventory (I)*, a quantidade de dinheiro investido em compras de itens que o sistema tem intenção de vender; Despesa Operacional ou *Operating*

Expensive (OE), que representa todo o dinheiro que o sistema gasta para transformar o estoque em resultado.

Neste contexto, o trabalho proposto utiliza o indicador OEE para a elevação de uma restrição e, conseqüentemente, para atingir as metas citadas anteriormente. Isto porque um aumento do OEE significa maior tempo efetivo de produção de máquina: aumenta-se a capacidade da linha produtiva sem a necessidade de investimentos para adquirir novas máquinas, já que se trabalha com a restrição do sistema. E, como se trabalha com a redução de desperdícios na restrição, tem-se como conseqüência da elevação do OEE, há a redução da despesa operacional. Enfim, este trabalho consiste em utilizar o OEE como indicador de desempenho das restrições físicas (máquinas) para identificar e mensurar os desperdícios na concepção de manufatura enxuta.

2.3. Eficiência global de equipamentos - Overall Equipment Effectiveness (OEE)

De acordo com Nakajima (1989), a *total productive maintenance* (TPM) é um método que tem como objetivo melhorar a eficácia e a longevidade das máquinas. Ainda segundo esse autor, é uma ferramenta da manufatura enxuta porque ataca os maiores desperdícios nas operações de produção. De acordo com *The Productivity Development Team* (1999), este método se originou de uma necessidade de um fornecedor atender os exigentes requisitos do Sistema Toyota de Produção (TPS). Atualmente o TPM é utilizado em várias empresas em todo o mundo para melhorar a capacidade de seus equipamentos e atingir metas para a redução de desperdícios, incluindo restauração e manutenção de condições padrão de operação.

De acordo com Nakajima (1989), a inovação trazida pela TPM está no fato de atribuir aos operadores, as atividades básicas de manutenção nos seus equipamentos. A partir desse momento, as áreas de manutenção passam a ser alimentadas de informações por parte dos operadores que se referem a anomalias e sintomas estranhos apresentados por seus equipamentos, permitindo que intervenções sejam executadas para prevenir a quebra ou a falha do equipamento.

Segundo Ohno (1997), se um equipamento comprado há muitos anos é mantido e pode garantir, no momento, um nível de operação próximo de 100% e se ele pode suportar a carga de produção destinada a ele, o valor da máquina não diminui em nada. Por outro lado, se uma máquina comprada há um ano e que tem recebido manutenção precária e produz somente metade do seu nível de produção, deve-se considerar que seu valor foi diminuído em 50%.

Para esse autor, o valor de uma máquina não é determinado pelos anos de serviço ou na sua idade. Ele é determinado pelo poder de ganho que ela ainda possui.

Ohno (1997) enfatiza a importância de se decidir substituir ou não uma máquina antiga. Para esse autor, se uma máquina recebe uma manutenção adequada, a sua substituição nunca é mais barata, mesmo quando o equipamento antigo exigir alguns gastos. Se realmente for decidido substituí-la, deve-se entender que as pessoas foram enganadas pelos cálculos e tomada de decisões errados, ou o programa de manutenção não está adequado. Por fim, esse autor afirma que as máquinas reformadas ou retificadas, que receberam manutenção precária e são utilizadas até a morte, oferecem custos decorrentes da sua substituição e que estes custos são enormes. Computado ao custo de manutenção, por exemplo, não significaria nada, a menos que um efeito real fosse alcançado em proporção ao aumento de custo.

Segundo Nakajima (1989), *overall equipment effectiveness* (OEE) é uma ferramenta utilizada para medir as melhorias implementadas pela metodologia TPM. Ainda segundo esse autor, a utilização do indicador OEE permite que as empresas analisem as reais condições da utilização de seus ativos. Estas análises das condições ocorrem a partir da identificação das perdas existentes em ambiente fabril, envolvendo índices de disponibilidade de equipamentos, desempenho e qualidade.

De acordo com Ron e Rooda (2005), o indicador OEE é uma métrica simples, clara e global e que os gestores apreciam por ser um indicador agregado, ao invés de métricas muito detalhadas. Para esses autores, OEE não é apenas um indicador operacional, e sim também um indicador que mede as atividades dos processos envolvidos com a operação e é recomendado para ambientes de alto volume de produção onde a utilização da capacidade produtiva é um item de alta prioridade e paradas ou interrupções são caras em termos de perda de capacidade.

Braglia, Frosolini e Zammori (2009), afirmam que o OEE dá uma medição consistente do real valor agregado na produção por um equipamento. Esses autores afirmam também que o OEE tem sido muito utilizado como meio para monitorar o atual desempenho do equipamento em relação à sua capacidade nominal sob as condições ótimas de operação.

Segundo Slack et al (1997), o OEE faz medições em três aspectos:

1. Tempo disponível para produzir;
2. Velocidade ou taxa de produção do equipamento e
3. Qualidade dos produtos produzidos.

A figura 2.1 ilustra, de maneira simplificada, o cálculo do OEE:



Figura 2.1 – Cálculo do indicador OEE

Fonte: The Productivity Development Team (1999)

Braglia, Frosolini e Zammori (2009) afirmam que o OEE pode ser expresso como uma fração entre o que realmente foi manufaturado com o que poderia ter idealmente sido produzido ou, alternativamente, como uma fração do tempo que um equipamento trabalha

com toda sua capacidade de operação. Segundo esses autores, o conceito do OEE é dada pela equação 2.1:

$$OEE = \frac{\text{ProduçãoAtual}}{\text{ProduçãoIdeal}} = \frac{TC \times TAV}{TC \times TPP} = \frac{TAV}{TPP}$$

Equação 2.1 – Cálculo do OEE

Fonte: Braglia, Frosolini e Zammori (2009)

Onde TC é o tempo de ciclo, TAV é o tempo de agregação de valor, TPP é o tempo programado de produção, no qual as paradas programadas já são descontadas.

A medição da eficiência global dos equipamentos pode ser aplicada de diferentes formas e objetivos. Segundo Jonsson e Lesshmmar (1999), o indicador OEE permite indicar áreas onde devem ser desenvolvidas melhorias bem como pode ser utilizado como *benchmark*, permitindo quantificar as melhorias desenvolvidas nos equipamentos, células ou linhas de produção ao longo do tempo. A análise do OEE e da produção de um grupo de máquinas de uma linha de produção ou de uma célula de manufatura permitem identificar o recurso com menor eficiência, possibilitando, desta forma, focalizar esforços nesses recursos.

É importante destacar que somente a medição do OEE, não fornece a ferramenta de suporte para programas de melhorias. O poder deste indicador está em ligar os dados do OEE para identificar as maiores perdas dos equipamentos (POMORSKI, 1997).

Nord e Johansson (1997) descrevem que o objetivo mais importante do OEE não é obter boas medições e sim obter uma medição simples que diga onde gastar os recursos de melhoria. A importância de se aperfeiçoar os equipamentos e atuar nas maiores perdas (obtidas através do OEE) se concretiza quanto há aumento de produção: a melhoria da eficácia descarta a necessidade de novos investimentos.

Segundo Nakajima (1989), o indicador OEE é uma medição que procura revelar os custos escondidos na empresa. Conforme Ljungberg (1998), antes do advento desse indicador, somente a disponibilidade era considerada na utilização dos equipamentos, o que resultava no super dimensionamento de capacidade.

Ainda de acordo com Nakajima (1989), o OEE é mensurado a partir da estratificação das seis grandes perdas e calculado através do produto dos índices de Disponibilidade, Desempenho e Qualidade. Um OEE de 85% deve ser buscado como meta ideal para os equipamentos e empresas que obtiveram OEE superior a 85% ganharam o prêmio *TPM Award*.

Quando se analisa o método de cálculo de OEE, verifica-se que a produção de um produto não conforme também pode afetar a disponibilidade da máquina, pois este produto ocupa o tempo de processamento para um item que também é considerado desperdício. No entanto, verifica-se que este tipo de perda é classificado como perda de qualidade, pois facilita na identificação das causas desses desperdícios. Caso fosse considerado também nos itens de disponibilidade e desempenho, este fato faria com que o OEE da máquina fosse subestimado já que o indicador seria penalizado por mais de uma vez pelo mesmo tipo de desperdício. Outro item relacionado ao indicador quanto aos tipos de perdas e sua mensuração não será tratado nesse trabalho. Esse outro fator está relacionado à ponderação das perdas na seguinte perspectiva: uma hora perdida no equipamento gargalo produzindo refugo teria o mesmo impacto ou custo do que uma hora perdida por manutenção corretiva? Alguns trabalhos recentes têm abordado esse item, porém não faz parte do escopo dessa pesquisa-ação.

Segundo Braglia, Frosolini e Zammori (2009), de acordo com a literatura técnica, a diferença entre o tempo de processamento de produção (TPP) e o tempo de agregação de valor (TAV) é expressa em termos de seis grandes perdas: quebra de equipamentos; tempo de

troca de ferramentas (setup) e ajustes de produção; tempos de operação em vazio ou pequenas paradas; queda de velocidade; perda de rendimento que ocorre entre o tempo de acionamento até a estabilização da máquina para produzir; e defeitos e retrabalhos.

Para Braglia, Frosolini e Zammori (2009), OEE pode ser considerado como a melhor escolha para avaliar a eficiência de um sistema produtivo, pois este indicador dá uma medição consistente do real valor agregado à produção por um equipamento. Esse indicador que, a princípio, foi proposto como uma métrica para auxiliar o TPM, atualmente é utilizado como uma maneira de monitorar o desempenho de um equipamento, em relação a sua capacidade nominal sob condições ótimas de operação.

Segundo Costa e Lima (2002), o OEE vem sendo adotado por diversas indústrias como principal métrica de eficiência. Para esses autores o OEE controla maneira simples, mas em algumas aplicações há inconvenientes e dificuldades podem ser encontradas. O maior problema apresenta-se quando os problemas e ineficiências de uma linha não podem ser classificados facilmente em termos das seis grandes perdas. Para esses casos, Braglia, Frosolini e Zammori (2009) afirmam que a ausência dessa ligação (entre eficiência do equipamento e as grandes perdas) pode gerar mal entendidos dos componentes do indicador OEE, que podem levar a uma concepção de uma estrutura errada de perdas. Para resolver esse problema, foi proposta uma estrutura como alternativa para classificar as perdas. Para esses autores, as perdas de bloqueio ou de falta de materiais podem ser uma consequência de todo o processo produtivo e que impactam na real utilização dos equipamentos. Isto porque a eficiência de um equipamento instalado dentro de uma fábrica, onde as máquinas usualmente não estão isoladas, operam em conjunto para a linha de produção. Os trabalhos específicos precisam ser realizados para que as peças possam ser processadas nos equipamentos e depois,

o material é transferido, armazenado e as paradas nessas atividades tem impacto direto no desempenho dos equipamentos e vice e versa.

Pomorski (1997) afirma que o OEE envolve todo o ambiente de manufatura, e não somente a disponibilidade do equipamento. Para esse autor, o OEE mede as perdas de eficiência quando o equipamento está disponível para produzir: identifica os desperdícios resultantes de refugos, retrabalhos, paradas de máquina e perdas de desempenho. Assim, analisando a eficiência do equipamento, é possível que o usuário promova mecanismos e oportunidades para melhorar a operação. Isso porque:

- OEE é uma medida de eficiência de equipamento quando existe trabalho disponível para ser executado e excluiu o tempo em que não há produção programada (por esse motivo, por exemplo, a falta de demanda de clientes não pode penalizar o indicador).
- OEE é uma medida de eficiência do equipamento relativa a produção programada. Para o cálculo do OEE é necessário um modelo capaz de identificar as paradas programadas ou a falta de programação de produção (devido a falta de demanda de clientes) para os equipamentos.
- A medição de OEE sozinha não promove uma ferramenta de melhorias. A vantagem do indicador está em fazer a ligação entre OEE e as informações sobre as maiores perdas do equipamento.
- Um bom gerenciamento do indicador OEE permite usá-lo como uma ferramenta de suporte para a restrição e sua melhoria e, promove consequentemente, um aumento de output através da eliminação de desperdícios.

Ron e Rooda (2004) afirmam que é necessário fazer uma análise crítica dos fatores que compõem o indicador OEE. The Productivity Development Team (1999) afirmam que o indicador OEE mede a eficiência dos equipamentos e não da mão-de-obra, mas quando o equipamento necessita da intervenção de operadores, estes são medidos de forma indireta. Isto porque, de acordo com Ron e Rooda (2004), os componentes desse indicador podem diagnosticar perdas de OEE relacionadas à eficiência operacional e vice-versa. Exemplos de perdas que podem ser identificadas com o indicador são: falta de treinamento (que ocasionam em deficiências no tempo de ciclo da operação ou nas características dos produtos gerando refugo ou retrabalhos), falta de manutenção (a máquina não consegue atingir a velocidade máxima de produção ou quando atinge gera mais produtos não conformes, ou quando o colaborador deve fazer pequenos reajustes devido à má condição de funcionamento da máquina), falta de organização do setor (o tempo de setup é alto devido à falta de ferramentas), etc. Por isso, diz-se que a eficiência do equipamento depende de fatores que não são todos relacionados com o equipamento em si, incluindo operadores, facilitadores, a interferência dos demais equipamentos, a disponibilidade de materiais e recursos, as requisições de programação de produção, etc.

Este trabalho considera qualquer parada de equipamento não programa como uma perda de eficiência do equipamento que poderia ser evitada ou reduzida através de trabalhos de melhoria contínua e com uma melhor gestão da produção. As paradas que são consideradas perdas consistem: setup, manutenção corretiva, espera da máquina devido à matéria-prima ou à falta de colaborador, parada de máquina devido às falhas externas a fábrica tais como falta de energia elétrica ou água, intervenções da engenharia de processos, troca de ferramentas de corte, etc.

A identificação das perdas é a atividade mais importante no processo de cálculo do OEE e a limitação das empresas em identificar suas perdas impede que se atue no restabelecimento das condições originais dos equipamentos, garantindo alcançar a eficiência global, conforme estabelecido quando o equipamento foi adquirido ou reformado. Em um ambiente de manufatura, há uma aproximação linear entre o tempo e o custo. Entretanto, existe o questionamento se a medição baseada no tempo pode ser classificada como uma medição real de produtividade, pois o tempo total não oferece informações sobre o consumo dos recursos no processo produção (TANGEN, 2003).

Por outro lado, Jeong e Phillips (2001) afirmam que a definição original do OEE não é apropriada para indústrias de capital intensivo, pois nessa versão o OEE começou a computar apenas os dados das perdas apenas para o tempo programado para produção. Nesse conceito, as perdas de tempo por máquina parada para manutenção preventiva ou por paradas programadas (tais como feriados e dias de folga) não penalizam o indicador, porém essas paradas causam impacto direto na produção pois são paradas de máquinas que poderiam ser monitoradas e reduzidas para aumentar o tempo de utilização para produção das máquinas.

Ainda Jeong e Phillips (2001) ressaltam também a importância de se trabalhar com a qualidade dos dados apontados para o cálculo do OEE e a sua acuracidade. Esses autores também propõem uma coleta de dados computadorizada como uma alternativa para melhorar a qualidade do apontamento das ocorrências, apesar de ser necessário altos investimentos para a implementação desse sistema de coletas automáticas.

Alguns autores como Oechsner et al (2003), destacam que os equipamentos não trabalham de forma isolada no chão de fábrica e que estes tem interferências de vários fatores, tais como: processos de fabricação, processamento e disponibilização das informações, decisões estratégicas, etc. Além disso, ainda segundo esses autores, existem outros itens que

são importantes para a manufatura não são contemplados no indicador OEE: eficiência energética, eficiência de matéria-prima, custos de produção, produtividade, requisitos específicos programação da produção tais como data de entregas ou prioridades de clientes. Para esses autores, os valores do OEE são métricas isoladas e não são suficientes para o aumento da produtividade das linhas de manufatura.

No entanto, esse trabalho tem como objetivo analisar as perdas das máquinas gargalo e aumentar sua taxa de produção através da redução dos desperdícios. Sendo assim, pôde-se verificar que o OEE se mostrou ser uma ferramenta eficaz na mensuração dos desperdícios e como fonte de dados para o aumento de produção dos equipamentos gargalos. Além disso, o objetivo desse trabalho não é obter uma medição ótima e sim adquirir e utilizar uma medição simples que é capaz de informar onde alocar e gastar os recursos para melhorias. Melhorias no sistema de medição da eficiência de uma linha produtiva, levando em consideração as informações obtidas e os métodos de coletas de dados do OEE, são propostas como sugestões para trabalhos futuros no capítulo 4.

2.4. A utilização do OEE na abordagem da manufatura enxuta e da TOC

Para a realização desse tópico do trabalho, foram executadas pesquisas na base de periódicos da CAPES e Emerald. Vale ressaltar que poucos trabalhos relacionando TOC e TPS foram encontrados.

De acordo com Taj e Berro (2006), TOC e manufatura enxuta são complementares umas às outras e geram uma grande sinergia quando são implementadas juntas. Isso porque elas têm empregado regras essenciais para a melhoria da produtividade e da posição competitiva nos últimos anos.

Segundo esses autores, TOC é designada para melhorar a produção do sistema e a manufatura enxuta melhora o processo de manufatura através da eliminação dos desperdícios e melhoria contínua. Ainda segundo esses autores, muitas empresas tem implementado uma das duas estratégias de melhoria, outras tentaram as duas, mas somente poucas tem implementado as duas práticas em uma aproximação única para atingir melhoria contínua. Gerenciamento das restrições são extremamente críticas em células enxutas ou em ambientes celulares devido ao muito pequeno ou nenhum pulmão no processo.

Antunes (1998) destaca alguns pontos comuns entre os princípios gerais entre a TOC e o Sistema Toyota de Produção (TPS):

- Partem de uma visão de sistema aberto;
- Inserem-se amplamente no paradigma de melhoria de processos;
- Utilizam-se amplamente de método científico;

- Estão fortemente baseados no alcance ótimo global do sistema utilizando-se para isto de um conjunto de indicadores e de uma lógica de custos compatíveis com o alcance das metas estabelecidas;
- Possuem ênfase prioritária na gestão das melhorias e na gestão da inovação;
- Postulam a necessidade prioritária de uma eficaz gestão de estoques para o alcance dos resultados econômico-financeiros desejados;
- Objetivam melhorar continuamente a sincronização dos sistemas produtivos, estando o foco das melhorias baseado na lógica da sincronização sistemática dos sistemas produtivos;
- Visualizam os sistemas produtivos como uma cadeia ou corrente de eventos, sendo dada ênfase prioritária à gestão do elo mais fraco da corrente.

Para Taj e Berro (2006), em um ambiente enxuto, todas as operações estão trabalhando na mesma velocidade do *takt time* com nenhum estoque de segurança ou estoques muito pequenos. Isso resulta em uma margem muito pequena de erros e, conseqüentemente, assim que um recurso se torna um gargalo, este imediatamente reduz a produção do sistema. Neste sentido, uma variação no desempenho da restrição do sistema produtivo também poderia ser monitorada caso atingisse patamares inferiores a faixa de desempenho desejável.

A figura 2.2 ilustra o método de trabalho da TOC em um ambiente de manufatura enxuta. Quando existe problema na restrição, este pode acarretar em problemas de entrega do produto para o cliente e isso pode acarretar em perdas para a empresa. No entanto, quando o problema não está localizado na restrição, este pode ou não acarretar em problemas de entrega do produto, mas impacta diretamente no aumento dos desperdícios do sistema de produção e, por isso, seguindo os princípios da TPS, sua causa deve ser eliminada.

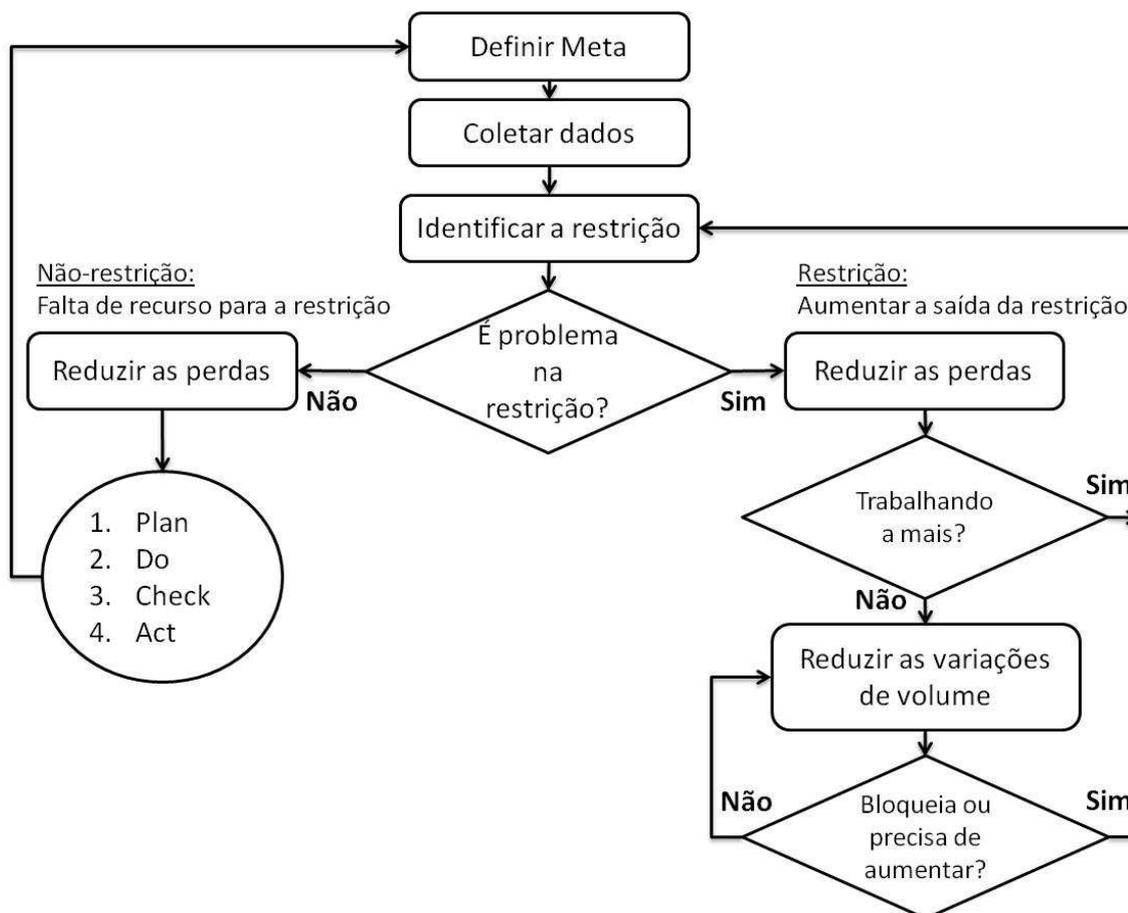


Figura 2.2 – Gerenciamento da restrição

Fonte: Taj e Berro (2006)

Hansen (2006) afirma que uma estratégia da OEE deve ser lançada em conjunto com os cinco passos da TOC:

1. Implementar na planta ou na fábrica piloto utilizando a lista prioritária dos ativos gargalos (identificar);
2. Concentrar os recursos e o programa inicial no gargalo principal (explorar);
3. Comunicar as outras áreas da planta. Não devem ser apenas informadas sobre as metas de OEE do equipamento chave, elas devem também dar apoio à lista prioritária e suprir os “ativos chaves” adequadamente (subordinar);
4. Implementar na área gargalo selecionada todas as mudanças necessárias para obter um elevado OEE (elevar);

5. Avaliar se esta área foi bem-sucedida. Caso se obtenha uma resposta positiva, o próximo ativo-chave a ser priorizado deve implementar os novos métodos, assegurando que os melhores resultados serão alcançados rapidamente (voltar);

Para Sánchez e Pérez (2001), a eficiência da operação em organizações enxutas requer a difusão de informações em todos os níveis da empresa. Segundo esses autores, as informações estratégicas e operacionais devem chegar ao chão de fábrica.

Sendo assim, a proposta desse trabalho consiste em:

1. Aplicar os dois princípios em conjunto: cinco passos da TOC e a eliminação dos desperdícios;
2. Identificar a restrição da linha de manufatura enxuta;
3. Quantificar (mensurar) o desempenho atual da restrição e os principais desperdícios com auxílio do indicador OEE disponibilizar a informação para todos os envolvidos e em todos os níveis hierárquicos;
4. Subordinar tudo à restrição;
5. Elevar a restrição (comprovar a elevação comparando os valores de OEE dessa etapa com os encontrados na etapa 3);
6. Identificar o novo gargalo.

O quadro 2.5 mostra a relação do indicador OEE e os oito tipos de desperdícios na manufatura. A proposta desse trabalho consiste em utilizar o OEE para quantificar as principais perdas nos gargalos produtivos. Após a identificação dos desperdícios em uma restrição física pretende-se elevar a produção desses equipamentos, através de ações de melhorias e eliminação das perdas identificadas.

Tipo de desperdício	Autor	Fator do OEE
Movimentação	Taiichi Ohno (1997)	Disponibilidade e desempenho
Espera		Disponibilidade e desempenho
Correção		Qualidade
Excesso de processamento		Desempenho e qualidade
Excesso de produção		Disponibilidade, desempenho e qualidade
Transporte		Disponibilidade e desempenho
Estoque		Disponibilidade
Conhecimento	Taj e Berro (2006)	Disponibilidade, desempenho e qualidade

Quadro 2.5 – Relação dos tipos de desperdícios identificados no indicador OEE

CAPÍTULO 3 – A PESQUISA

Segundo Marconi e Lakatos (2006), o método é o conjunto das atividades sistemáticas e racionais que, com maior segurança e economia, permite alcançar o objetivo, conhecimentos válidos e verdadeiros, traçando o caminho a ser seguido, detectando erros e auxiliando as decisões do pesquisador. O capítulo 3 dessa dissertação apresenta o método de pesquisa selecionado, bem como todo seu desenvolvimento e principais resultados e análise dos dados.

3.1 Seleção do método

O quadro 3.1 apresenta as classificações dessa pesquisa, bem como o método de trabalho selecionado.

Classificação da pesquisa científica	Definições	Aplicação
Natureza aplicada	Appolinário (2006), a pesquisa aplicada caracteriza-se por seu interesse prático, isto é, que os resultados sejam aplicados ou utilizados imediatamente na solução de problemas que ocorrem na realidade.	A pesquisa-ação apresentada tem como objetivo analisar o impacto da implementação do indicador OEE em um ambiente enxuto e que utiliza a TOC para trabalhar com a eliminação de desperdícios e elevação do sistema produtivo. Para isso, utilizou-se de uma aplicação prática em uma empresa do setor de autopeças, que foi escolhida como objeto de estudo.
Objetivo exploratório	A pesquisa exploratória objetiva definir melhor o problema, proporcionar <i>insights</i> sobre o assunto, descrever comportamentos ou definir e classificar fatos e variáveis. Também proporciona maior familiaridade com o tema com vistas de torná-lo explícito ou a construir hipóteses. Envolve o levantamento bibliográfico, entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o tema pesquisado; análise de exemplos que estimulem a compressão.	A pesquisa-ação analisa, propõe e implementa uma sistemática que identifique as fases de um projeto de elevação da restrição, utilizando os passos propostos na TOC por meio do indicador OEE. Para isso, utiliza-se de um objeto de estudo, onde os dados são obtidos através de entrevistas formais e informais, relatórios gerenciais, <i>brainstorming</i> com os colaboradores da área e observações da pesquisadora.

Abordagem qualitativa	Esta pesquisa aborda o tema como pesquisa qualitativa, pois de acordo com. Bryman (1989) a abordagem qualitativa dá ênfase à forma de captar a perspectiva dos indivíduos que são objeto do estudo. A pesquisa qualitativa não é adversa à quantificação e pesquisadores qualitativos podem incluir procedimentos de enumeração em suas investigações.	Através da pesquisa-ação, foi possível verificar se o indicador OEE poderia auxiliar no processo de identificação de perdas nos equipamentos gargalos e no processo de melhoria. No entanto, também foram utilizados dados quantitativos (medição de OEE, dos desperdícios e dados de produção média dos equipamentos gargalos) e também dados qualitativos (identificação e classificação dos desperdícios. As informações foram obtidas pela pesquisadora através de observações, entrevistas e relatórios da empresa estudada).
Método de pesquisa-ação	Thiollent (2005) afirma que a pesquisa-ação é um trabalho de natureza empírica, concebido e realizado em estreita associação com a resolução de um problema coletivo, no qual os pesquisadores e participantes representativos da situação estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo, objetivando endereçar este problema de pesquisa em uma organização. Coughlan e Coghlan (2002) a pesquisa-ação sempre envolve dois objetivos: resolver um problema e contribuir para a ciência.	Este trabalho utilizou o método de pesquisa ação, pois envolve o objetivo de resolução de problema - elevação de uma restrição física - e um objetivo de contribuir para a ciência - como o indicador OEE pode auxiliar nos trabalhos de elevação de restrição, seguindo os passos da TOC. Sendo assim, o problema de pesquisa deste trabalho é utilizar o OEE para medir o desempenho da restrição e, assim que cada vez que o indicador é utilizado para a evolução do trabalho, considera-se que há um ciclo de pesquisa-ação. Além disso, a pesquisadora participou de forma ativa da equipe de trabalho que foi responsável pela realização dos ciclos da pesquisa-ação.

Quadro 3.1 – Classificação da pesquisa

Segundo Thiollent (2005) e Coughtlan e Coghlan (2002), a abordagem desse trabalho é caracterizada por pesquisa-ação. Tripp (2005) afirma que a pesquisa-ação é um termo genérico para qualquer processo que seja um ciclo no qual se aprimora a prática pela oscilação sistemática entre agir no campo da prática e investigar a respeito dela. Planeja-se, implementa-se, descreve-se e avalia-se uma mudança para melhora da prática, aprendendo mais, no correr do processo, tanto a respeito da prática quanto da própria investigação. Ainda segundo esse autor, a pesquisa-ação é uma forma de investigação-ação que utiliza técnicas de pesquisa para informar a ação que se decide tomar para melhorar a prática.

Coghlan e Brannick (2001) afirmam que a pesquisa-ação é apropriada quando as questões relacionam a descrição de um desdobramento de séries de ações distribuídas dentro de um grupo, comunidade ou organização para entender, como um membro do grupo, como e porque suas ações podem mudar ou melhorar o trabalho em alguns aspectos de um sistema e entender o processo de mudança ou melhoria, segundo as regras do aprendizado.

Coughtlan e Coghlan (2002) acrescentaram que a pesquisa-ação apresenta as características principais listadas na primeira coluna do quadro 3.2. A segunda coluna apresenta a relação de cada uma das características com esse trabalho.

Características	Relação com esse trabalho
O pesquisador toma ação (não é um mero observador);	Atuação da pesquisadora por meio de participação ativa em reuniões do grupo de trabalho, auxiliou nos métodos de recolhimento de dados e no cálculo o do OEE do grupo de máquinas escolhido (restrição da linha de produção estudada). Também houve participação ativa em reuniões de <i>brainstorming</i> com os colaboradores da célula de manufatura estudada. Essa participação proporcionou melhor interação entre os dois objetivos propostos nessa pesquisa.
A pesquisa-ação envolve dois objetivos: 1. Solucionar um problema; 2. Contribuir para a ciência;	O objetivo prático desse trabalho consistiu em identificar e elevar o gargalo de um sistema de produção e seus desperdícios. A contribuição teórica consiste em analisar como o indicador OEE para auxiliar na elevação da restrição em um ambiente de manufatura enxuta.
A pesquisa-ação é interativa (cooperação e interatividade entre os envolvidos);	O bom nível de interatividade com os envolvidos no trabalho e com a organização foi um fator positivo para o andamento da pesquisa. O grupo de trabalho foi composto por representantes de diversos departamentos e que são dedicados para a linha de produção estudada: produção, manutenção, engenharia de processo, qualidade e logística.
A pesquisa-ação objetiva desenvolver um entendimento holístico;	A pesquisa proporcionou um entendimento do problema no contexto da linha de produção, pois se considerou a linha de produção como um sistema e sua restrição para obter melhores resultados. Proporcionou uma ampla pesquisa na literatura sobre os conceitos e permitiu uma abordagem que inter-relaciona manufatura enxuta, TOC e OEE. Também proporcionou uma compreensão do contexto estudado e a ligação do contexto prático e teórico.
A pesquisa-ação é fundamentalmente relacionada à mudança;	A mudança é inerente a esse trabalho, pois visa a implementação de ações para redução dos desperdícios e de propostas de melhorias: elevar a restrição estudada.

A pesquisa-ação pode incluir diferentes métodos e técnicas de coleta de dados (quantitativas e qualitativas);	Para esse trabalho foram adotadas técnicas tanto quantitativas quanto qualitativas, por meio de relatórios do indicador OEE, de informações obtidas durante as reuniões de acompanhamento do trabalho com o grupo de trabalho, com os colaboradores da linha e com a chefia da área.
A pesquisa-ação deve ser conduzida em tempo real (um estudo de caso “vivo”);	O trabalho foi conduzido pelo período de seis meses, de forma ininterrupta, conduzindo os aspectos de intervenção e influência nas decisões organizacionais em tempo real. A pesquisa-ação foi realizada através de três ciclos, sendo que cada um deles é caracterizado pela aplicação do indicador OEE para a medição, análise e validação do trabalho (elevação da restrição).
A pesquisa-ação requer critérios próprios de qualidade para sua avaliação.	A literatura de referência foi desenvolvida como um dos critérios para avaliação da pesquisa, além das apresentações para a chefia da empresa e para o grupo de trabalho. Também foram realizadas apresentações feitas para outros setores e para visitas realizadas por outras empresas.

Quadro 3.2 – Características da pesquisa-ação e enquadramento no trabalho

Fonte: Adaptado de Coughtlan e Coghlan (2002)

Segundo Miguel (2009), esta abordagem de pesquisa compreende três fases principais: uma preliminar, um ciclo de condução e uma meta fase. O ciclo de condução da pesquisa compreende seis passos, enquanto que a meta fase está presente em cada um desses.

1. **Primeira fase – Pré-fase ou estudo de caso preliminar:** para o presente trabalho, esta fase foi caracterizada pela análise dos documentos internos que permitia compreender o mercado em que a linha de produção estava inserida, tanto em termos de produtos vendidos como em termos de materiais adquiridos para a produção dos bens. É nesta fase que se realizou uma análise do panorama geral da empresa objeto de estudo, já que se obteve também a colaboração das pessoas envolvidas no processo de tomada de decisão da empresa. Essa fase também se caracterizou por reuniões diárias de planejamento, ao longo de uma semana, onde foram discutidas as principais causas do problema de entrega (não cumprimento das metas diárias) e a preocupação dos membros da equipe de trabalho com o desempenho da linha nos próximos meses. De

acordo com Coughtlan e Coghlan (2002), para essa etapa é necessário entender o contexto do trabalho e quais são seus objetivos. Sendo assim, de acordo com as primeiras discussões realizadas com a equipe, estabeleceu-se que a presente pesquisa seria direcionada com o objetivo de superar as seguintes dificuldades: quais são os problemas que mais impactam na linha de produção? Qual é a restrição ou gargalo (máquina) atual? Quais serão as restrições de máquina para os próximos meses? Como é possível medir e melhorar o desempenho da linha de produção, já que esta possui diversos produtos com tempos padrão diferentes?

O quadro 3.3 mostra as principais questões relacionadas ao método de trabalho e a pesquisa-ação desenvolvida.

Questões relacionadas ao método e a pesquisa	Justificativas desse trabalho
Por que este projeto é necessário?	Esse trabalho é necessário para aumentar a capacidade de produção da linha estudada, onde a entrega diária é limitada por um grupo de máquinas que foi identificado como o gargalo da linha. De acordo com o departamento de logística da fábrica estudada, a previsão de produção para os próximos meses era de 50.000 peças por dia e o histórico de produção média diária apresentava um valor de 43.000 peças, trabalhando com todas as máquinas nos três turnos disponíveis.
Quais são as forças econômicas, políticas, sociais e técnicas que direcionam essa necessidade?	Essa necessidade surgiu devido ao aumento da demanda de mercado e à identificação da restrição - o aumento do lucro da empresa estudada está na própria linha de produção. Para a realização desse trabalho, o apoio da alta administração da área foi fundamental para o andamento das ações e a mesma mostrou interesse na melhoria dos resultados de entrega e na redução de desperdícios.
Qual é a razão da pesquisa?	Esta pesquisa tem como objetivo analisar como o indicador OEE pode auxiliar a elevação de uma restrição em um ambiente de manufatura enxuta, através da identificação, quantificação dos desperdícios em um gargalo produtivo.

Quadro 3.3 – Principais aspectos da pré-etapa da pesquisa-ação

2. Segunda fase – Seis passos principais ou ciclo de condução pelos seis passos:

Coughltan e Coghlan (2002) afirmam que etapa consiste na coleta, realimentação e análise dos dados e planejar, implementar e avaliar as ações. O quadro 3.4 mostra, resumidamente, os seis passos sobre metodologia de pesquisa adaptadas de Miguel (2009).

Passo	Descrição	Meios da pesquisa
1.Coleta de dados e registro dos dados	Os dados são gerados por meio de envolvimento com o processo organizacional	A participação no projeto de melhoria da linha de produção, a participação em reuniões periódicas e o fato da pesquisadora ser membro integrante do grupo de trabalho, auxiliaram na coleta dos dados necessários. Os dados obtidos nessa pesquisa-ação foram obtidos através dos relatórios gerenciais das áreas de logística, produção e qualidade, das reuniões e entrevistas formais e informais com os colaboradores da linha de produção e através das observações feitas pela pesquisadora – cultura e comunicação dentro da empresa, acontecimentos do dia-a-dia e comportamentos das pessoas.
2.Realimentação dos dados	Os dados são retornados para a organização visando disponibilizá-la para análise	Relatórios elaborados pela pesquisadora, apresentações feitas para a equipe de trabalho e para a chefia da área; realimentação informal através de conversas com colaboradores diretos e chefia durante o expediente de trabalho foram métodos utilizados para a realimentação dos dados.
3.Análise dos dados	Análise conjunta realizada pelo pesquisador e membros envolvidos no trabalho	As apresentações periódicas feitas pela equipe de trabalho e o acompanhamento diário do indicador OEE foram utilizados como meio para análise dos dados. Por fim, depois de um mês de informações e análise crítica dos resultados, realizou-se uma reunião com todo o grupo para se formalizar a análise do indicador OEE, alinhar as informações e elaborar um plano de ação. Durante as reuniões para análise dos dados, todos os integrantes da equipe participaram e deram suas contribuições: representantes de processo, logística, qualidade, manutenção e produção. O envolvimento de todos consistiu em um fator crítico em todos os ciclos de trabalho dessa pesquisa.
4.Planejamento de ação	Atividade conjunta que estabelece o que vai ser feito e com que prazo.	De acordo com os principais dados obtidos nas etapas anteriores e na sua análise crítica, foram realizados os planejamentos das ações (plano de ação), que aconteceram durante as reuniões de análise dos dados. Os integrantes da equipe de trabalho, juntamente com a chefia da área, priorizaram as ações e responsáveis e estabeleceram os prazos de acordo com a relevância de cada uma. As seguintes questões foram levadas em consideração para cada uma das ações propostas: O que precisa mudar? Em que parte da empresa? Quais são os tipos de mudanças requeridas? Quais suportes serão necessários? Como o comprometimento deve ser construído? Como a resistência

		pode ser gerenciada?
5.Implementação	A ação estabelecida é então implementada visando promover as mudanças planejadas.	As ações propostas foram implementadas pelos membros da equipe e o acompanhamento das ações e prazos foram realizados semanalmente.
6.Avaliação	Reflexão dos resultados esperados ou não decorrentes da implementação da ação.	Em cada um dos ciclos realizados, após a etapa de implementação, foram coletados dados do indicador OEE do período e se realizou a avaliação das ações para se comprovar a eficácia das mesmas para aquele determinado ciclo. Durante esta etapa também foram avaliados os pontos críticos e as dificuldades encontradas e que serviram como dados de entrada para o planejamento das ações do próximo ciclo de trabalho. Para a verificação da eficácia do trabalho e da elevação da restrição, realizou-se no último ciclo na pesquisa-ação, um teste de hipótese (com auxílio do software MINITAB ® R14) com os valores de OEE antes e depois da pesquisa-ação.

Quadro 3.4 – Seis passos do ciclo de condução

Fonte: Adaptado de Miguel (2009)

3. **Terceira (Meta) Fase – Monitoramento:** a verificação de cada um dos seis pontos discutidos no item anterior são avaliados nessa etapa. O objetivo dessa fase é identificar o conhecimento adquirido com a pesquisa-ação. De acordo com Miguel (2009), esse monitoramento pode estar presente de diferentes maneiras, conforme cada ciclo de condução. Coughlan e Coughlan (2002) afirmam que do lado da organização, pode haver o estabelecimento de um grupo diretivo durante a condução da pesquisa-ação, nesse caso com maior interesse nos resultados prático do trabalho. Ainda segundo esses autores, o pesquisador não deve estar preocupado somente se o projeto está sendo realizado, mas também deve monitorar o processo de conhecimento adquirido e investigar o projeto com relação às questões propostas com o trabalho. Por esse motivo, em cada etapa da elevação da restrição, a pesquisadora faz suas principais considerações quanto ao aprendizado adquirido e aos principais pontos de atenção - característicos de cada fase do trabalho.

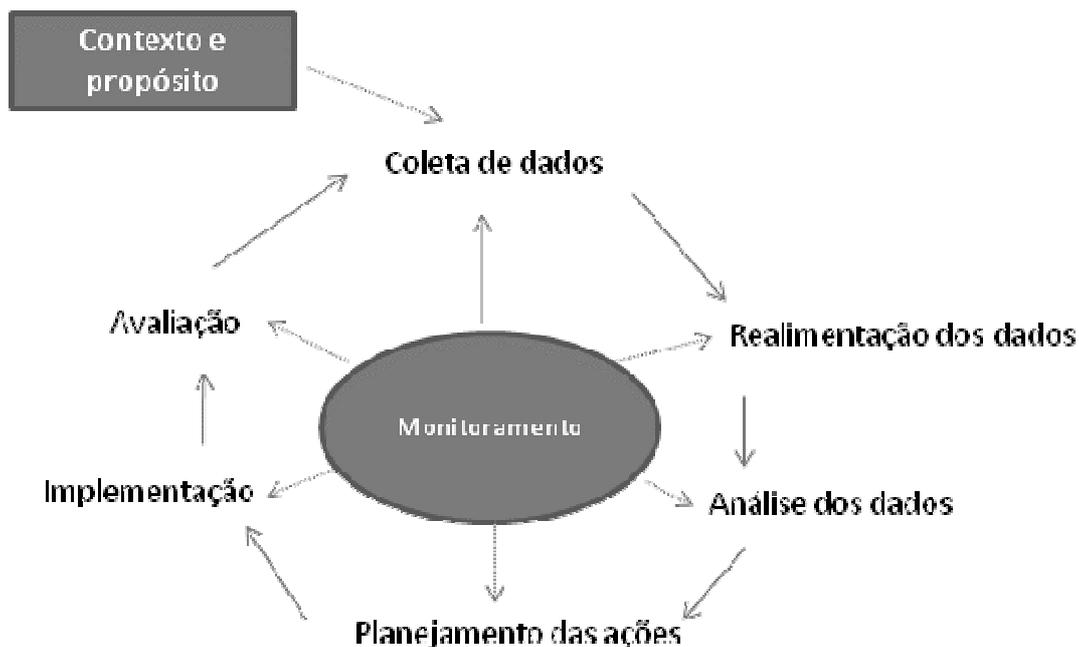


Figura 3.1 – Ciclo da pesquisa-ação

Fonte: Coughtlan e Coghlan (2002)

Nesta pesquisa considerou-se um ciclo da pesquisa-ação cada uma das etapas onde se utilizou o indicador OEE para medição ou análise dos resultados. Ou seja, a pesquisa-ação consistiu em três ciclos: medição do OEE e melhorias de apontamento, análise crítica dos resultados ou medições e validação das melhorias. Para sistematizar cada ciclo da pesquisa-ação, utilizou-se a metodologia proposta por Coughtlan e Coghlan (2002) a qual é ilustrada na figura 3.1. Durante esses três ciclos, foram realizados cinco passos propostos por Goldratt para a elevação da restrição: identificação da restrição, explorar a restrição, subordinar tudo a restrição, elevar a restrição, quando a restrição for elevada retornar a primeira etapa.

A figura 3.2 apresenta a integração dos ciclos de uma pesquisa-ação e o quadro 3.5 ilustra a metodologia proposta nesta pesquisa-ação para a utilização do indicador OEE como ferramenta de auxílio para elevação das restrições, seguindo os passos propostos pela TOC.

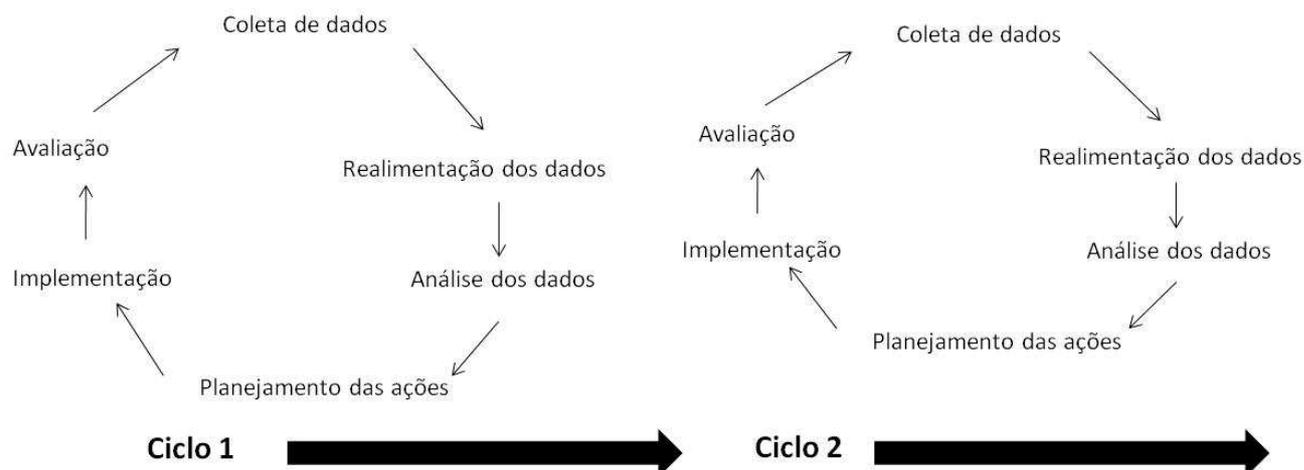


Figura 3.2 – Ciclos da pesquisa-ação

Fonte: Coughtlan e Coghlan (1992)

Ciclos da pesquisa-ação	OEE	Fases da TOC
1º. Ciclo	<ul style="list-style-type: none"> • Identificação da restrição física; • Levantamento dos dados; • Início da medição de OEE da(s) máquina(s) gargalo. 	Identificar da restrição
	<ul style="list-style-type: none"> • Coleta de dados; • Análise crítica do indicador OEE do período; • Identificação das perdas e elaboração do plano de ação. 	Decidir como explorá-la
2º. Ciclo	<ul style="list-style-type: none"> • Execução das ações propostas da fase anterior; • Foco da equipe na elevação da restrição (aumento de produção). 	Subordinar tudo a esta restrição
	<ul style="list-style-type: none"> • Acompanhamento dos valores de OEE obtidos para a verificação da eficácia das ações. 	Elevar a restrição
3º. Ciclo	<ul style="list-style-type: none"> • Verificação de eficácia das ações; • Comparação dos resultados e levantamento das informações; • OEE tem valor maior e estável. 	Quando a restrição for elevada, voltar ao primeiro passo
	<ul style="list-style-type: none"> • Comprovação da elevação da restrição (OEE depois das ações é maior do que o OEE antes); • Análise do cenário (nova restrição). 	

Quadro 3.5 – Método de pesquisa proposto

3.2 Protocolo de pesquisa

O quadro 3.6 apresenta o protocolo utilizado para condução desta pesquisa.

Delineamento da pesquisa
a) Seleção do objeto de análise.
b) Elaboração do referencial teórico sobre TPS, TOC e OEE.
c) Coletar dados: identificar restrição.
d) Coletar dados: Identificar os desperdícios existentes na restrição.
e) Análise dos dados: Propor ações para reduzir principais perdas no gargalo.
f) Verificar potenciais de melhoria para o aumento da taxa horária de produção.
g) Implementar ações.
h) Verificar eficácia das ações.
j) Coleta dos resultados e dos principais ganhos.

Quadro 3.6 – Delineamento da pesquisa-ação

3.3 Unidade de pesquisa e metodologia proposta

A empresa objeto de estudo consiste em uma planta de uma empresa multinacional do setor de autopeças. A linha de produção foi escolhida de acordo com os requisitos descritos no quadro 3.7.

Fator de escolha	Comentários
Projeto de implementação de <i>lean manufacturing</i> concluído	A linha de produção em questão já trabalhava com a filosofia de manufatura enxuta há quase três anos. Possuía o fluxo contínuo entre as principais operações e tinha suas atividades focadas na redução de desperdícios, segundo entrevista com o chefe da área que apresentou a pesquisadora todo o trabalho realizado e os ganhos obtidos com a implementação do <i>lean manufacturing</i> (através do relatório gerencial do departamento de planejamento industrial de 2006).
Utilização do indicador OEE	De acordo com os dados apresentados no relatório gerencial do departamento de planejamento industrial de 2008, os responsáveis pelo projeto de <i>lean manufacturing</i> implementaram o fluxo produtivo balanceado de acordo com o <i>takt time</i> do mercado. Por isso, a chefia da área apresentou interesse em monitorar OEE da linha de produção. O chefe da área também possuía como diretriz da gerência, a medição do indicador OEE na linha de produção na qual era responsável.
Existência de uma restrição física (gargalo)	A restrição para a linha produtiva consistia em um determinado tipo de máquinas. De acordo com os relatórios gerenciais dos departamentos de logística e de vendas de 2008, a principal restrição para o maior faturamento da empresa consistia na produção e entrega dos produtos ao estoque industrial. Isto porque a linha produtiva tinha sido dimensionada para produzir dois principais tipos produtos com o mix de produção de 50% para cada tipo de produto. Esse balanceamento foi realizado com os dados dos relatórios de previsão de vendas – relatório gerencial da logística - da época. Porém, a demanda do mercado mudou rapidamente e passou a exigir um <i>mix</i> de produção diferente: aproximadamente 70% de produtos do tipo 1 e 30% de produtos do tipo 2. Sendo assim, o grupo de máquinas (chamadas nesta pesquisa-ação de máquina 4.1) que era responsável pelo processamento do produto tipo 1 tornou-se o gargalo da linha produtiva, já que passou a impedir uma maior produção, entrega e venda para o mercado.
Dados para análise	As células de produção apontavam diariamente, por turno, a produção diária (peças boas, refugadas e retrabalhadas) e as perdas específicas que ocorreram durante seu período de trabalho (paradas, suas durações e os motivos). Esses dados faziam parte do relatório diário da produção e consistiam em informações suficientes para a medição do indicador OEE, bem como dados de entrada para o início do trabalho relacionado à TOC.
Acesso e apoio para realização das atividades propostas na pesquisa-ação	A pesquisadora é funcionária da empresa, com formação em engenharia de produção, coordenadora dos projetos de implementação de OEE e TPM na fábrica. Possuía experiência de dois anos em trabalhos de melhoria do indicador OEE em outras linhas de produção, fez parte do grupo de trabalho desta pesquisa-ação e teve o apoio da chefia da área para trabalhar com os conceitos de TOC e OEE.
Divulgação dos resultados da pesquisa	Por questões estratégicas, a empresa estudada não permitiu a divulgação do nome dos relatórios que são fontes de dados para esta dissertação, assim os mesmos serão descritos de forma genérica como “relatórios gerenciais” com o nome da área e o ano de sua publicação. Por exemplo: relatório gerencial da logística – 2008.

Quadro 3.7 – Fatores críticos para a escolha da empresa objeto de estudo

3.4 Coleta de dados e desenvolvimento da pesquisa-ação

As fontes de coletas de dados foram: entrevistas semi-estruturadas (realizadas com colaboradores de nível operacional; liderança direta, gerência e engenheiro de processo, de manutenção e de qualidade – todos que tinham trabalhos relacionados ou responsabilidades com o grupo de máquinas estudadas); registros e documentos da empresa e observações da pesquisadora - que foi nomeada pela gerência como coordenadora do projeto de implementação do indicador OEE na fábrica.

Os estudos sobre a TOC, a aplicação do gerenciamento das restrições e os princípios da manufatura enxuta ajudaram a entender a natureza do gargalo estudada nesta pesquisa-ação.

Coughlan e Codhlan (1992), afirmam que a pesquisa ação é composta de ciclos. Para este trabalho, utilizaram-se os ciclos da pesquisa ação cada vez que se viu necessário a utilização e análise do indicador OEE nas cinco etapas da TOC propostas por Goldratt (1990).

O quadro 3.5 ilustra o método proposto e utilizado neste trabalho. Os tópicos a seguir descrevem os ciclos da pesquisa-ação realizados nesse trabalho e os dados coletados em cada um dos ciclos.

1. Primeiro ciclo da pesquisa-ação: estudo preliminar, identificação do gargalo e medição do OEE

1. **Identificar a restrição:** para realização do primeiro ciclo da pesquisa-ação, realizou-se uma reunião geral com todos os envolvidos para se identificar as dificuldades

enfrentadas. A reunião foi convocada pela chefia da área e ao se dar início a reunião, foi apresentado para a equipe com o relatório gerencial do departamento de logística de 2008, que identificou o crescente aumento de demanda dos produtos. Quando esse relatório foi analisado juntamente com o relatório gerencial de capacidade produtiva e a equipe reunida pôde verificar que os equipamentos de produção se tornariam a restrição para as vendas da empresa. No entanto, o mesmo relatório gerencial do departamento de logística de 2008, identificou que uma determinada família de produtos teve uma boa aceitação no mercado e fez com que o *mix* de produção mudasse em um curto espaço de tempo. Isso porque produtos de tipos diferentes possuíam fluxos de produção diferentes e possuíam operações realizadas por máquinas específicas. Sendo assim, o fluxo do produto 1 teria um determinado fluxo produtivo e, ao passar pela operação 4, esta deveria ser realizada no grupo de máquinas 4.1 – que consistia em uma operação mais especializada, de melhor tecnologia e com capacidade para atender melhor as especificações dos clientes. Com a mudança no *mix* de demanda do mercado, um determinado grupo de máquinas, chamado neste trabalho como “grupo de máquinas 4.1” passou a ser a restrição da linha produtiva e, conseqüentemente, do sistema. No entanto, para uma mesma família existem tipos de produtos com dimensões diferentes e, por esse motivo, seus tempos de processamentos são diferenciados. O indicador OEE foi utilizado para mensurar o desempenho do tempo efetivo de produção - para esses produtos da família 1 e que são processados no grupo de máquinas 4.1 - e para mensurar as perdas desses equipamentos. O ciclo 1 da pesquisa ação está relacionado com o primeiro passo da teoria das restrições, ou seja, a identificação da restrição e com a sua mensuração do OEE.

Como já foi dito anteriormente, a empresa estudada produz vários tipos de produtos que podem ser agrupados em duas famílias principais: família do produto 1 e família do produto 2. Essas duas famílias estão relacionadas diretamente com o tipo de processamento de seus produtos e de suas características que são realizadas nos grupos de máquinas 4.1 e 4.2. O fluxo produtivo é ilustrado na figura 3.3 e os grupos de máquinas que especificam os tipos de operações são ilustrados na figura 3.4.

A figura 3.3 ilustra o fluxo de produção da linha estudada. Em alguns pontos do processamento, o fluxo se divide (dependendo do tipo de produto) e para esses casos tem-se o grupo de máquinas 4.1 e 4.2 e o grupo de máquinas 8. Porém, voltam a se reencontrar em alguns equipamentos que são comuns para todos os tipos de produtos produzidos, tais como os grupos de máquinas 1, 2, 3, 5, 6, 7, 9 e 10.

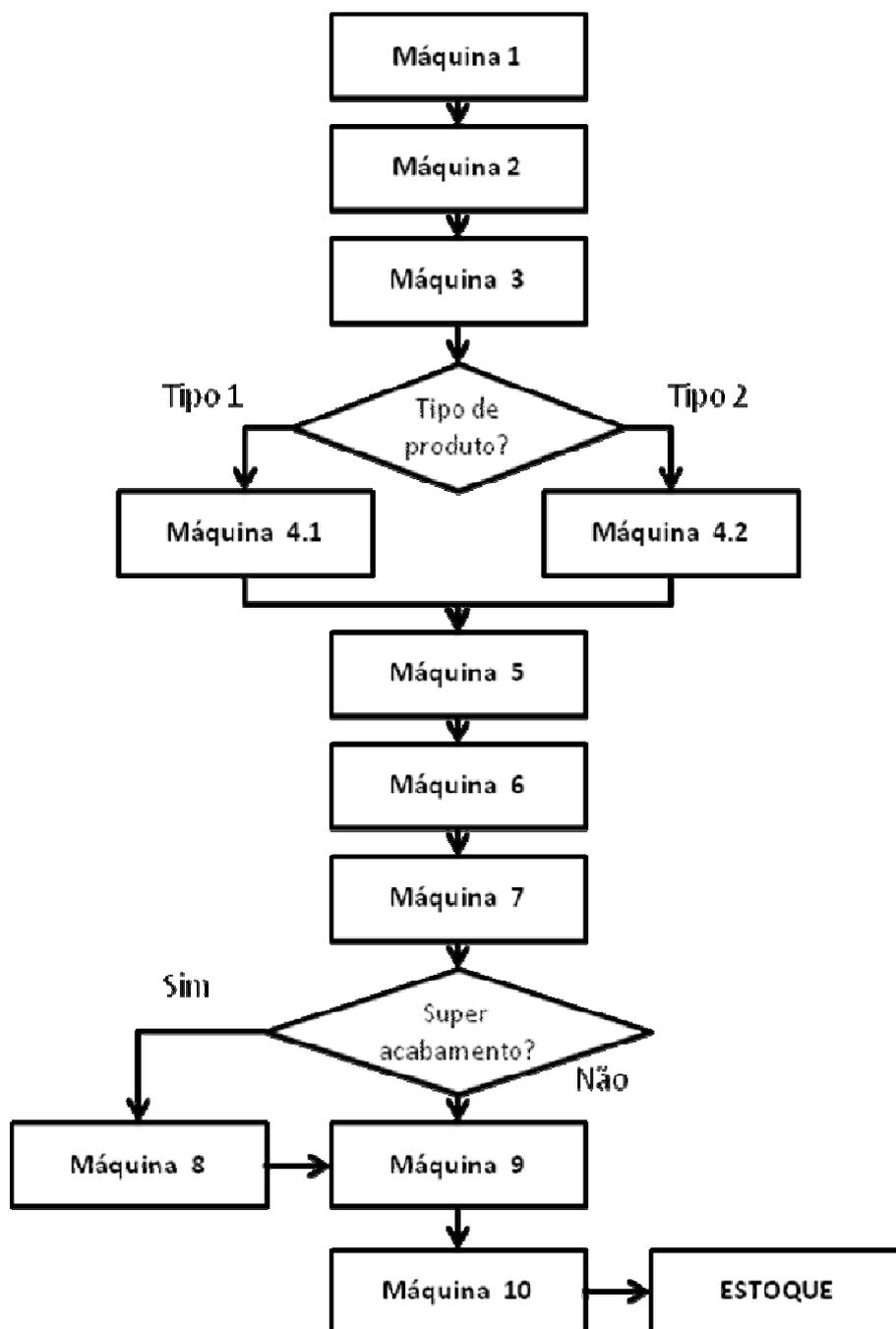


Figura 3.3 – Fluxo produtivo da linha estudada

Fonte: Relatório gerencial de produção 2008

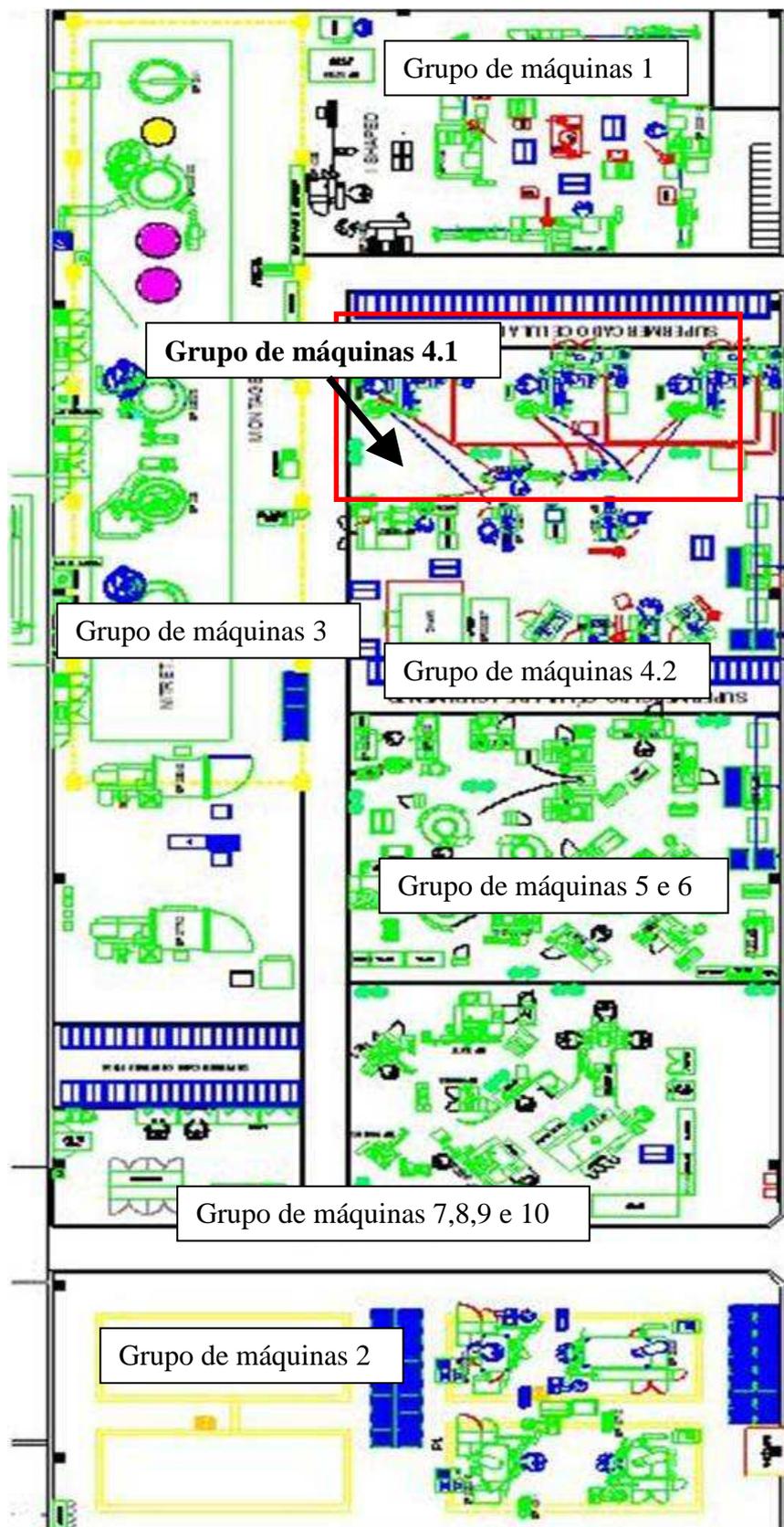


Figura 3.4 – Layout da linha de produção estudada e grupo de máquinas gargalos

O quadro 3.8 apresenta as atividades relacionadas ao processo de identificação da restrição:

Primeiro ciclo da pesquisa-ação: identificação da restrição	Comentários
Coleta de dados	Para dar início ao trabalho, foi necessário identificar o gargalo da linha produtiva. Utilizou-se para essa informação, o relatório gerencial de logística.
Realimentação dos dados	De acordo com o relatório, foi identificado um gargalo do sistema: grupo de máquinas 4.1. E esse fato se confirmava pelos próximos 5 meses, de acordo com a previsão de vendas e com pedidos dos clientes (dados de origem que compunham o relatório gerencial da logística).
Planejamento das ações	Com as novas informações, o grupo de trabalho se reuniu e decidiu coletar informações mais específicas para esse grupo de máquinas e não somente a quantidade de peças produzidas. O grupo decidiu então implementar a medição da eficiência global desses equipamentos, ou seja, o OEE para cada máquina do grupo 4.1. Para isso as seguintes ações foram propostas: <ol style="list-style-type: none"> 1. Reativar o sistema de apontamento: diário de bordo (controle gerencial da produção) com as informações a respeito dos produtos produzidos durante cada turno, a quantidade produzida e tipos e duração das paradas dos equipamentos; 2. Reciclar os colaboradores diretos de todos os turnos quanto ao novo sistema de apontamento; 3. Cadastrar no banco de dados do aplicativo (disponibilizado pela empresa), todas as informações a respeito do grupo de máquinas: tipos de paradas, tempo teórico para cada família de produtos, tipos de refugo e de retrabalhos; 4. Inserir dados diariamente no aplicativo OEE. 5. Realizar <i>brainstorming</i> com os colaboradores diretos com o objetivo de identificar os principais problemas enfrentados.
Implementação	As ações foram implementadas em aproximadamente em três semanas e aos poucos, a equipe alimentava o banco de dados do aplicativo com os dados a respeito do gargalo identificado.
Avaliação	Após a coleta dos primeiros dados, a equipe se reuniu e avaliou que poderia obter informações relevantes para melhorar a taxa de produção horária do gargalo. Definiu-se que um mês seria tempo suficiente para coleta de dados e acompanhar a qualidade das informações fornecidas pelos colaboradores no diário de bordo.
Principais considerações da pesquisadora	A equipe de trabalho e as pessoas envolvidas se mostraram interessadas em entender o que realmente acontecia no gargalo e em propor soluções para os problemas. O principal conhecimento adquirido por todos os envolvidos no trabalho, nesta primeira etapa, foi o conceito do indicador OEE e seu método de cálculo. A principal dificuldade enfrentada estava relacionada à qualidade dos apontamentos (dados) dos turnos a respeito de produção (produtos e quantidades) e paradas de máquina (motivo e duração). Para solucionar esse problema, foi designado um responsável para realizar o acompanhamento diário dos apontamentos e um treinamento sobre a importância do apontamento correto. A pesquisadora optou por não considerar o OEE desse período, pois a equipe constatou que deveria trabalhar com a qualidade do apontamento.

Quadro 3.8 – Primeiro ciclo da pesquisa-ação: identificar a restrição

2 - Decidir como explorá-la: como o indicador OEE é composto de três fatores (disponibilidade, desempenho e qualidade), foi possível identificar as principais perdas do grupo de máquinas 4.1. Então, neste segundo ciclo da pesquisa-ação, as ações foram propostas com objetivo de reduzir as perdas, bem como para verificar as oportunidades de melhoria. O quadro 3.8 apresenta as atividades relacionadas ao processo de decisão – como explorar a restrição. Braglia, Frosolini e Zammori (2009) afirmam que o OEE pode ser expresso como uma fração entre o que realmente foi manufaturado com o que poderia ter idealmente sido produzido ou, alternativamente, como uma fração do tempo que um equipamento trabalha com toda sua capacidade de operação. Segundo esses autores, o conceito do OEE é dada pela equação 3.1:

$$OEE = \frac{\text{ProduçãoAtual}}{\text{ProduçãoIdeal}} = \frac{TC \times TAV}{TC \times TPP} = \frac{TAV}{TPP}$$

Equação 3.1 – Cálculo do OEE

Fonte: Braglia, Frosolini e Zammori (2009)

Onde TC é o tempo de ciclo, TAV é o tempo de agregação de valor, TPP é o tempo programado de produção, no qual as paradas programadas já são descontadas.

Segundo Chiaradia (2004), os índices do OEE podem ser calculados através dos três itens ou fatores citados a seguir:

- a. **Índice de disponibilidade:** Este índice responde a seguinte questão: “A máquina está funcionando?”. Para isso, são consideradas as seguintes perdas: Perdas de gestão (aguardando programação, falta de operador, falta de ferramental, aguardando produto da operação anterior, etc.); Perdas por paradas não programadas (manutenção, setup, aguardando laudo, falta de energia elétrica, etc.). A equação (3) refere-se ao cálculo da disponibilidade:

$$\text{Tempo de Carga (TC)} = \text{Tempo teórico disponível} - \text{paradas programadas (horas)} \quad (1)$$

$$\text{Tempo real disponível (TRD)} = \text{Tempo de carga} - \text{paradas não programadas (horas)} \quad (2)$$

$$\text{Disponibilidade(\%)} = \frac{\text{TRD}}{\text{TC}} \times 100 \quad (3)$$

Sendo consideradas que paradas programadas: manutenção preventiva ou programada, almoço, treinamentos, reuniões, etc. A figura 3.5 ilustra o tempo real de produção, que é igual ao tempo produtivo. O tempo de carga é ilustrado através do tempo programado para produção.

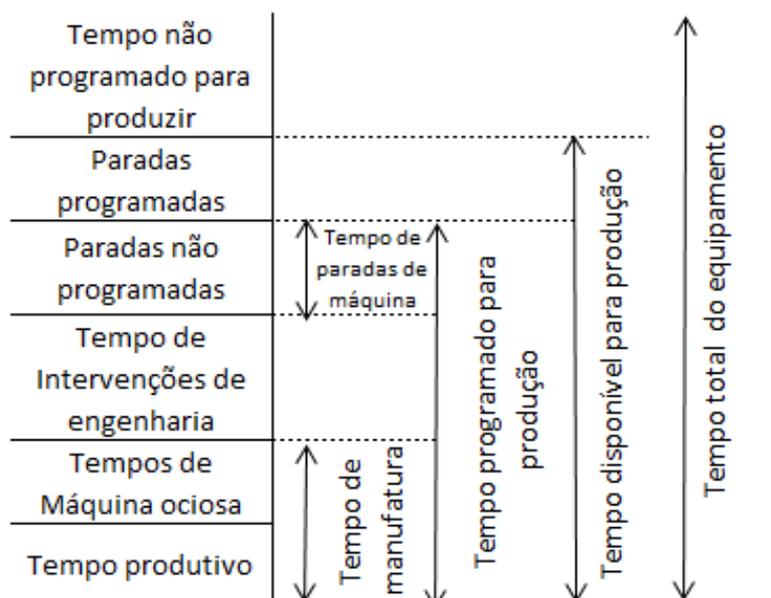


Figura 3.5 – Tempo de produção

Fonte: Adaptado de Ron e Rooda (2005)

- b. **Índice de desempenho:** O segundo índice responde a seguinte questão: “A máquina está produzindo na velocidade máxima?”. Este índice pode ser obtido através da equação (4).

$$Desempenho(\%) = \frac{Peças\ Produzidas(pçs)}{Tempo\ Standard(pçs/h) \times Tempo\ Real\ Disponível(h)} \times 100 \quad (4)$$

Para Nakajima (1989), a diferença entre o desempenho teórico e real deve-se às perdas relacionadas às pequenas paradas e à queda de desempenho da máquina (queda da velocidade para qual a máquina foi projetada).

Pomorski (1997) afirma que o tempo teórico é baseado no “melhor caso” de produção onde a ferramenta ou máquina trabalha em condição ótima. Para esse autor, deve-se realizar um estudo do tempo teórico para cada tipo de produto ou parâmetro de processos que é esperado com que a ferramenta ou máquina trabalhe. O tempo teórico baseado nos tempos padrão, em condições ótimas de trabalho, facilita a identificação de perdas de velocidade e de micro-paradas nas análises de perdas. Para Ron e Rooda (2005), o desempenho é a relação entre o tempo teórico para completar o trabalho planejado e o tempo real (medido) de produção real. Segundo esses autores, a velocidade de processamento pode variar para o processamento de um mesmo produto, devido às diferenças de tempo de carregamento e preparação das máquinas feitas pelos operadores ou devido às pequenas paradas que não são reportadas como paradas ou por tempo de trabalho em vazio que são consideradas como tempo operacional. Ou seja, o tempo teórico de produção corresponde à eficiência teórica para cada tipo de produto (ou família) sem considerar qualquer tipo de perda.

Os cálculos dos tempos padrão desse trabalho foram divididos em quatro etapas:

1. Divisão e classificação dos produtos por família, de acordo com suas características dimensionais e de processos;

2. Obtenção das atividades realizadas na operação, tais como carregamento e descarregamento de máquina, inspeção e verificação dos produtos e outras atividades aplicáveis.
3. Coleta dos tempos das atividades e dos tempos de processamento para cada família de produtos;
4. Padronização dos tempos padrão de acordo com as normas da empresa, incluindo as taxas de fadiga, necessidades pessoais e interferências esperadas.

Depois da obtenção desses dados, esses foram cadastrados no banco de dados do aplicativo para o cálculo do desempenho do tempo produtivo na medição do indicador OEE nos turnos. As principais dificuldades encontradas consistiram na definição de um método de trabalho padronizado entre os turnos e no tempo de coleta de dados, já que houve um número significativo de famílias e, alguns tipos de produtos tiveram seus tempos padrão atualizados depois de algumas semanas. Isso porque sua produção e medição dependiam da demanda do cliente.

Com relação à redução de desperdícios, o Sistema Toyota de Produção prega que o controle visual é estabelecido integralmente. Para Ohno (1997), as folhas de trabalho padrão e as informações nelas contidas são elementos importantes do Sistema Toyota de Produção. Para que alguém da produção seja capaz de escrever uma folha de trabalho padrão que outros trabalhadores possam compreender, ele ou ela devem estar convencidos da sua importância. Para esse autor, a alta eficiência a produção é mantida pela prevenção da ocorrência de produtos defeituosos, erros operacionais, acidentes e pela incorporação das idéias dos trabalhadores. Tudo isso é possível por causa da imperceptível folha de trabalho padrão. A folha de trabalho padrão combina eficazmente materiais, operários e máquinas para produzir com eficiência. Ela lista com clareza os três elementos do procedimento de trabalho padrão

como: tempo de ciclo, sequência de trabalho e estoque padrão. O tempo de ciclo é o tempo alocado para fazer uma peça ou unidade – isto é determinado pela quantidade da produção, ou seja, a quantidade necessária e o tempo da operação. A sequência de trabalho está relacionada com as instruções básicas de trabalho: a sequência e os movimentos básicos. Para Ohno (1997), com essas informações, os operários aprendem rapidamente a fazer um trabalho ou a evitar produzir peças defeituosas. Ao mesmo tempo, os operários devem ser ensinados a ajudar uns aos outros. Porque são as pessoas que fazem o trabalho e não máquinas, haverá diferenças individuais nos tempos de operações causadas por condições físicas. O termo “sequência de trabalho” refere-se a sequência de operações ou à ordem das operações em que o operário processa itens: transportando-os, montando-os nas máquinas, removendo das mesmas e assim por diante. O estoque padrão refere-se ao mínimo de trabalho em processo intraprocessado necessário para que as operações continuem sem interrupções ou esperas. Isto inclui itens montados nas máquinas. Ainda segundo o mesmo autor, a importância está no trabalho em equipe, ou seja, não importa quantas peças foram usinadas ou perfuradas por um operário, mas quantos produtos foram completados pela linha como um todo.

Nesse âmbito de análise, pode-se fazer uma analogia da importância do trabalho padronizado para se manter o ritmo ou o ciclo de trabalho para que se atinja o desempenho esperado pela aquela determinada sequência de trabalho (a melhor maneira) e que forma a taxa de desempenho padrão utilizado para calcular o desempenho ideal do fator desempenho do cálculo do OEE. Para não ocorrer perdas de desempenho, o método de trabalho deve contemplar a velocidade ideal de trabalho, pois uma velocidade maior acarretará em perdas de qualidade do produto ou de segurança do colaborador e uma velocidade menor acarretará em perdas de horas da máquina (menor taxa de produção horária).

- c. **Índice de Qualidade:** O terceiro índice que compõe o OEE responde a seguinte questão: “A máquina está produzindo produtos com as especificações certas?”. Isto porque se a máquina está processando peças defeituosas ou reprocessando peças com problemas, há desperdício no tempo de máquina já que esta poderia estar produzindo um novo lote de produção de peças boas. Este índice pode ser obtido através da equação (5).

$$Qualidade(\%) = \frac{Peças\ Produzidas - Peças\ Refugadas - Peças\ Retrabalhadas}{Peças\ Produzidas} \quad (5)$$

- d. **Indicador OEE:** O indicador OEE, como já foi citado anteriormente, é composto dos três índices anteriores. De acordo com *The Productivity Development Team (1999)*, seu objetivo é analisar unicamente a eficiência dos equipamentos e não dos operadores. Sendo assim, ele é utilizado para verificar se a máquina continua trabalhando na velocidade e qualidade especificadas no seu projeto e também para apontar as perdas originadas do sistema produtivo como um todo. Este índice pode ser obtido através da equação (6).

$$OEE(\%) = Disponibilidade \times Desempenho \times Qualidade \quad (6)$$

A figura 3.6 ilustra o processo de identificação das perdas nos equipamentos gargalos de acordo com os conceitos da filosofia TPS.

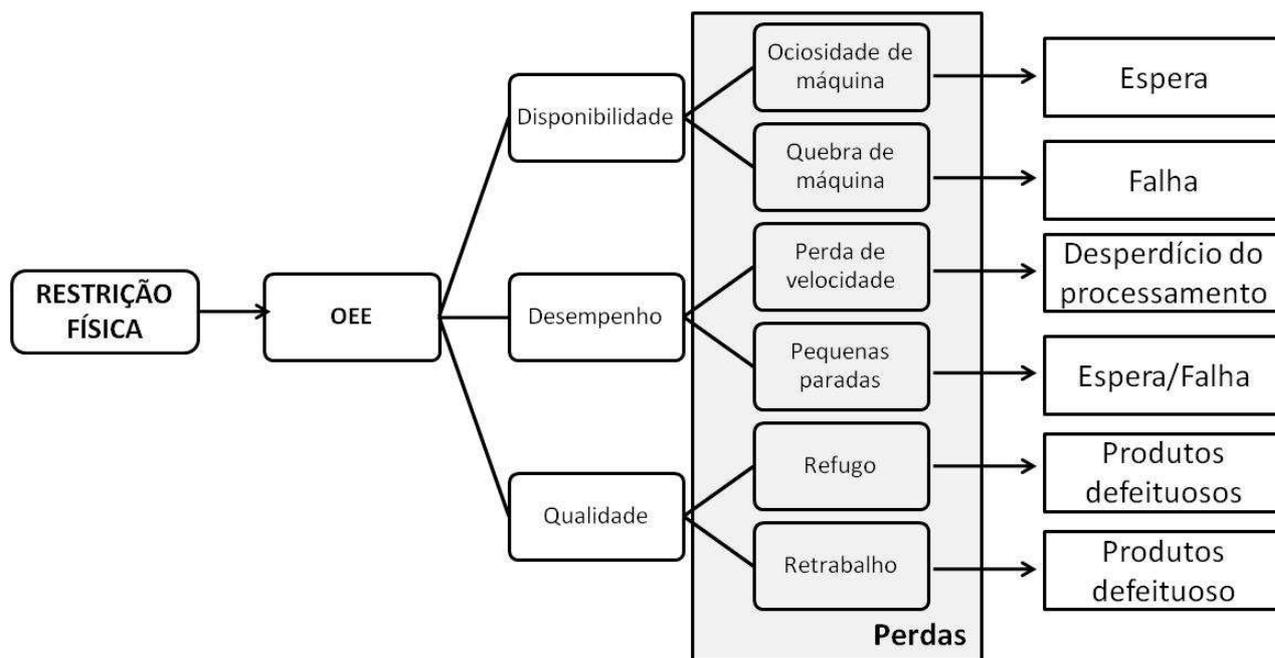


Figura 3.6 – Identificação de perdas nos equipamentos gargalos

A figura 3.7 ilustra o diário de bordo elaborado pela equipe. Os colaboradores que trabalhavam nos equipamentos gargalos apontavam toda sua rotina de trabalho nesse formulário. Para tanto, foi necessário classificar os tipos de paradas mais frequentes, tipos de produtos diferentes (dentro da mesma família) e quantidades de produtos produzidos. Os tipos de ocorrências (paradas) foram divididas em grupos e os colaboradores passaram a considerar parada de máquinas apenas as paradas com duração acima de cinco minutos. Isso porque as informações deveriam ser detalhadas de forma com que promovesse dados de entradas para os planos de ação de melhoria e, ao mesmo tempo, não deveriam ter um excesso de paradas para anotações e com detalhes extremos.

		Apontamento de Ocorrências					Máquina/BP:							
Segunda-feira					Data:		Terça-feira					Data:		
Turno	Hora Início	Hora Fim	Produto/Ocorrência	Quant. Prod.Boas	Refugo	Retrabalho	Turno	Hora Início	Hora Fim	Produto/Ocorrência	Quant. Prod.Boas	Refugo	Retrabalho	
1º Turno/ Chapa:							1º Turno/ Chapa:							
Total Produzido							Total Produzido							

Figura 3.7 – Diário de bordo para apontamento

Fonte: Relatório gerencial de produção 2008

Após a coleta dos dados, através do apontamento manual pelos operadores das máquinas gargalo, os mesmos foram lançados no aplicativo de cálculo de OEE que possuía um banco de dados na rede de informática da empresa estudada.

O software *OEE Toolkit*® foi adquirido e disponibilizado pela empresa estudada para a implementação do indicador OEE. Esse aplicativo foi desenvolvido pela empresa *FullFact* que é subsidiária do grupo *Blom*. A *FullFact* surgiu na empresa de consultoria *Blom* no ano de 2004. No final desse mesmo ano, a *Blom Consultancy* começou a disponibilizar e vender os produtos desenvolvidos. No entanto para melhorar os produtos oferecidos e para dar início a novos produtos demandados pelos clientes, as soluções para melhoria de produtividade começaram a ser oferecidos pela *FullFact*. Sendo assim, a *FullFact* passou a desenvolver soluções para o time de manufatura e para as pessoas do chão de fábrica. Seus principais clientes são: Kodak, Philips, Bosch,

3M, Alcoa, Roche, Heinz, Nestlé, entre outros. Mais informações a respeito da empresa e de seus produtos podem ser encontradas no site: <http://www.oetoolkit.com/index.html>. Alguns trabalhos publicados também utilizaram esse aplicativo como ferramenta, tais como o livro THE PRODUCTIVITY DEVELOPMENT TEAM, OEE for operators. Shopfloor Series; University Press, 1999. E o artigo: Utilização do indicador de eficácia global de equipamentos (OEE) na gestão de melhoria contínua do sistema de manufatura – Um estudo de caso. Ana Carolina Oliveira Santos e Marcos José Santos, XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2007. Assim, com essa ferramenta foi possível se realizar diversos tipos de análises com as informações e relatórios obtidos ao longo do período de coleta dos dados. O principal foco das pessoas envolvidas nessa etapa do trabalho foi o apontamento correto das ocorrências, dos produtos produzidos, quantidade e qualidade.

A figura 3.8 corresponde a tela inicial do aplicativo utilizado para o cálculo por turno diário do OEE.

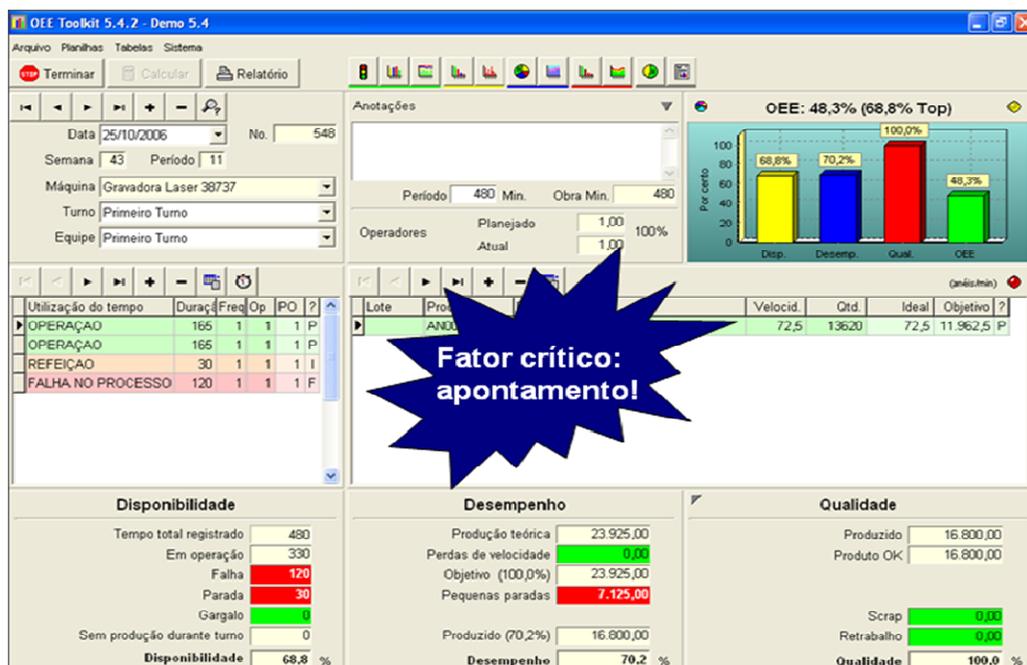


Figura 3.8 – Tela inicial do aplicativo de cálculo do OEE e ênfase da equipe

A figura 3.9 ilustra o valor do OEE e as informações obtidas durante o primeiro ciclo da pesquisa ação e que auxiliaram a equipe a focalizar as ações para a redução dos principais desperdícios.

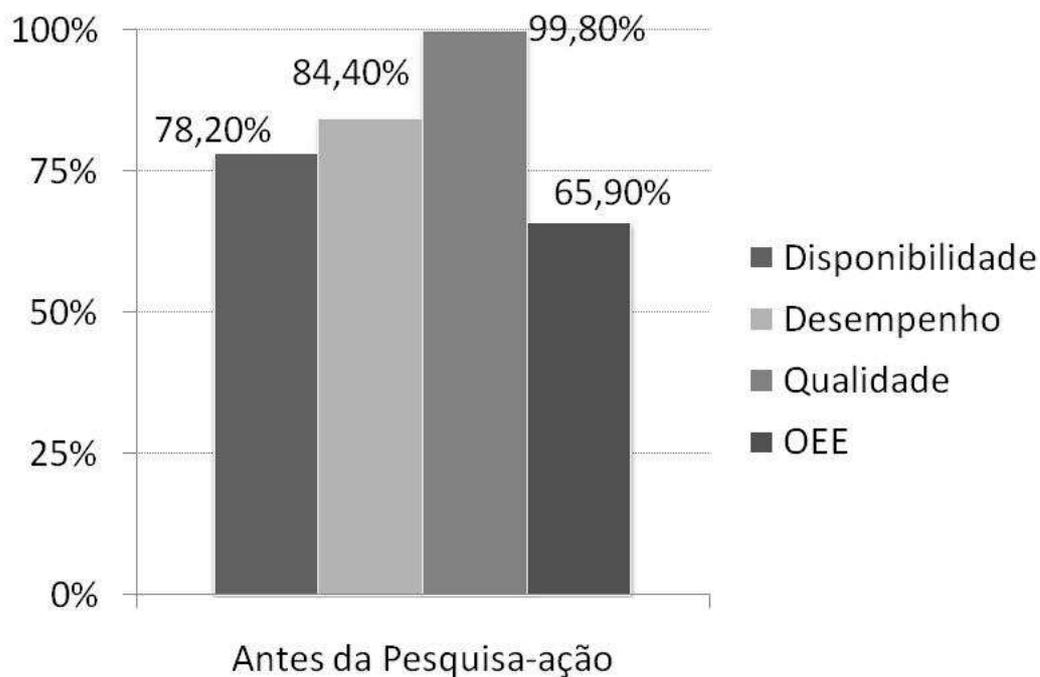


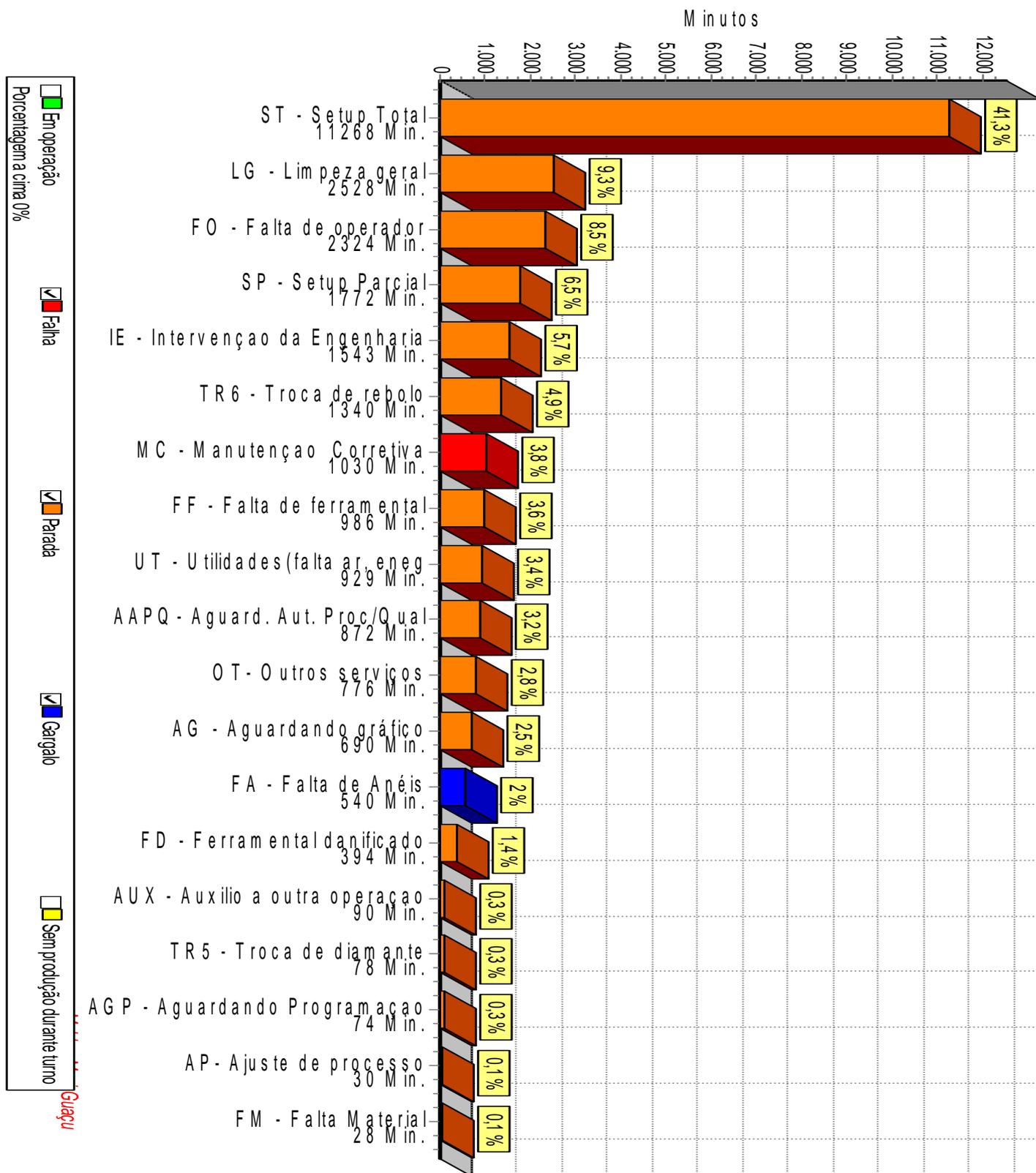
Figura 3.9 – OEE do grupo de máquinas 4.1

Fonte: Relatório gerencial de produção 2008

As principais perdas por paradas de máquinas identificadas no período são ilustradas no Pareto da figura 3.10. As cores diferenciadas das barras são utilizadas para classificar o tipo de desperdício de parada de máquina. A cor laranja é relacionada à ociosidade de máquina, isto é, perda por espera. A cor vermelha está relacionada à falha ou manutenção corretiva; e a cor verde é relacionada à espera devido ao problema de gargalo, ou seja, de abastecimento por parte da operação anterior. Também é utilizada a cor amarela, que serve como uma identificação para as paradas planejadas e estas, por sua vez, não penalizam o indicador, já que não são consideradas como perdas ou desperdícios.

Fonte: Relatório gerencial da produção de 2008

Figura 3.10 – Principais paradas das máquinas 4.1



O quadro 3.9 resume as principais etapas e ações do primeiro ciclo da pesquisa-ação.

Primeiro ciclo da pesquisa-ação: decidir como explorar a restrição	Comentários
Coleta de dados	A segunda fase do primeiro ciclo da pesquisa ação iniciou-se com a coletada de dados durante um mês do grupo de máquinas que consistiam no gargalo da linha de produção estudada e os valores de OEE. Também se utilizou das informações coletadas durante a realização do <i>brainstorming</i> com os três turnos de produção. Durante esse período, verificou-se que o OEE desse grupo de máquinas foi de 65,9%
Realimentação dos dados	Realizou-se então uma reunião com o objetivo de se expor os principais dados e informações coletadas e de se discutir as eventuais informações necessárias para o planejamento das ações. Após a discussão de diversos tópicos, a equipe de trabalho decidiu agendar mais uma reunião para o planejamento das ações para o dia seguinte.
Planejamento das ações	<p>Durante o planejamento das ações, o grupo de trabalho focalizou-se nas principais perdas identificadas pelo indicador OEE e também nas perdas que não necessitavam de investimento ou muitos recursos para sua eliminação. A principal perda de disponibilidade de máquina medida foi o tempo de setup: 41,3% do tempo total das paradas (ilustrada no pareto, figura 3.10).As principais ações estabelecidas pela equipe foram:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Criar uma equipe de trabalho especifica para trabalhar com a redução do tempo de setup; Responsável: engenheiro de processo. Prazo: 3 dias. 2. Fazer uma análise do diagrama homem máquina do método de trabalho atual; Responsável: engenheira de produção. Prazo: 4 dias 3. Fazer uma análise das principais causas das quebras de máquina; responsável: supervisor de manutenção. Prazo: 7 dias 4. Reduzir tempo de dressagem de rebolos com a implantação de bombas de alta pressão; Responsável: engenheiro de processo. Prazo: 21 dias 5. Realizar “Teste A” nas famílias de produtos críticos com o objetivo de ter uma maior garantia da qualidade dos produtos; Responsável: supervisor da qualidade. Prazo: 1 dia 6. Reduzir o tempo morto de avanço do rebolo; Responsável: engenheiro de processo. Prazo: 3 dias. 7. Revisar o tempo padrão para determinados tipos de produtos e estratificar os tempos padrão dos produtos em mais faixas. Responsável: cronoanalista da empresa. Prazo: 21 dias
Implementação	As ações foram implementadas em aproximadamente em três semanas e diariamente, a equipe analisava o impacto e a eficácia da implementação dessas ações, acompanhando os resultados do indicador OEE.
Avaliação	As ações foram implementadas de acordo com o planejamento específico de cada uma. As ações se mostraram eficazes pois houve melhoria significativo do indicador OEE. Verificou-se nessa etapa uma oportunidade de ganho a partir dos dados coletados com a frente de trabalho relacionada ao diagrama homem-máquina.
Principais considerações da pesquisadora	Segundo as constatações a pesquisadora, nesta etapa consolidou-se os conceitos do indicador OEE e apresentou-se também para a equipe envolvida, os conceitos propostos pela TOC. Os principais desperdícios foram identificados, quantificados e apresentados para todos os envolvidos com o trabalho. Segundo as observações da

	<p>pesquisadora, as principais dificuldades nesta etapa foram: comprometimento desigual por parte dos integrantes da equipe. A pesquisadora também pôde constatar através de observações e conversas informais que alguns integrantes da equipe apresentavam resistência ou até tinham dificuldades em entender ou adotar o indicador OEE como indicador principal de medição do grupo de máquinas ao invés do indicador de produção diária. Para esses casos, foi realizada uma reunião informal para discutir o assunto entre a chefia da área e os supervisores de primeira linha. O apoio da alta administração foi essencial para essa etapa, pois os integrantes da equipe foram disponibilizados e focados na realização das ações planejadas.</p>
--	---

Quadro 3.9 – Primeiro ciclo da pesquisa-ação: decidir como explorar a restrição

O quadro 3.10 faz a relação dos desperdícios identificados, sua classificação de acordo com os conceitos propostos por Ohno (1997) e as principais ações propostas pelo grupo de trabalho para redução dos mesmos.

Desperdício	Classificação	Ações
Perdas de desempenho 1. perda de velocidade 2. pequenas paradas	1. Movimentação desnecessária 2. Espera 3. Falta de treinamento 4. Falta de trabalho padronizado	1. Reduzir os tempos de operação em vazio; 2. Padronizar os parâmetros de usinagem; 3. Implementar e treinar colaboradores quanto ao método de trabalho padronizado;
Parada por manutenção corretiva	Quebra	1. Realizar a análise de falhas (principais tipos de paradas) e elaborar plano de ação para diminuir o número de intervenções de manutenção; 2. Implementar TPM nas máquinas;
Elevado tempo de setup	Espera	1. Implementar troca rápida de ferramentas; 2. Treinar colaboradores quanto à regulagem de máquinas; 3. Criar método de trabalho padronizado para realização do setup;
Refugo	Produtos não conforme	1. Realizar treinamento da mão de obra; 2. Realizar teste A nos produtos

		críticos 3. Implementar melhorias no controle da qualidade dos ferramentais;
--	--	---

Quadro 3.10 – Principais desperdícios encontrados no gargalo produtivo

Fonte: Relatório gerencial de produção 2008

2. Segundo ciclo da pesquisa da pesquisa-ação: Subordinação e elevação da restrição

3- Subordinar tudo a esta restrição: como se tratava de um gargalo do sistema, o foco das pessoas envolvidas estava em aumentar o OEE da restrição, de acordo com o plano de trabalho estabelecido no ciclo anterior. Essa etapa consistiu na realização das demais tarefas estabelecidas pela equipe de trabalho e teve uma duração média de dois meses. Essa etapa ajudou na identificação de uma oportunidade de melhoria, através da mudança do método de trabalho na célula estudada. O quadro 3.11 detalha as ações e as oportunidades de melhorias propostas nesta etapa de trabalho.

Segundo ciclo da pesquisa-ação: subordinar tudo a esta restrição	Comentários
Coleta de dados	Foram analisados os dados coletados através da ação relacionada ao diagrama Homem X Máquina. Tempo de máquina, atividades dos colaboradores e tempo de ociosidade de máquina. O método de trabalho utilizado para essa análise é ilustrada na figura 3.11. Neste método cada colaborador é responsável por todas as atividades relacionadas à sua máquina: montagem dos dispositivos, carregamento, processamento e descarregamento dos produtos nas máquinas. Durante a análise desse método de trabalho verificou-se que em vários momentos a máquina permanecia parada aguardando o colaborador terminar de realizar suas atividades. Como não existia um método de trabalho padrão, verificou-se que havia perdas de desempenho por parte dos colaboradores e o que confirmava o homem como sendo o gargalo do método de trabalho.
Realimentação dos dados	Uma nova proposta de trabalho foi planejada, englobando todas as máquinas da célula e todos os colaboradores. A nova proposta de trabalho é ilustrada na figura 3.13. Pode-se observar que no novo método de trabalho, as atividades dos

	colaboradores foram organizadas de forma que a máquina fique o máximo de tempo possível produzindo. Para isso, dois colaboradores ficaram responsáveis pela montagem e desmontagem dos dispositivos e outro responsável apenas por alimentar duas máquinas. Nesse novo método, a máquina passa a ser o gargalo do método, porém esta passa mais tempo produzindo e, com isso, produz mais peças quando comparada com o método anterior. Através da análise dessa nova proposta, o grupo verificou uma redução significativa do tempo de ociosidade de máquina.
Planejamento das ações	Com as perspectivas de ganho e com o novo método de trabalho estabelecido e aprimorado, foram propostas as seguintes ações: <ul style="list-style-type: none"> • Elaborar novo método de trabalho padronizado; • Realizar mudanças no layout da célula (ilustrado na figura 3.12); • Treinar colaboradores envolvidos.
Implementação	As ações foram realizadas e os primeiros dias após as mudanças consistiram em treinamento em teste. Após o refinamento de alguns detalhes (sugeridos pelos colaboradores da área) e a própria prática do novo método (que teve uma duração aproximada de uma semana), a implementação do trabalho foi considerada finalizada.
Avaliação	A implementação do novo método de trabalho foi bem sucedida, mesmo sendo considerada a etapa mais difícil pelo grupo, pois foi uma mudança significativa no método de trabalho e no relacionamento e comunicação entre os funcionários, que com o novo método passaram a trabalhar como um grupo de trabalho.
Principais considerações da pesquisadora	Nessa etapa foram adquiridos conhecimentos sobre diagrama homem máquina e pode-se verificar a mudança do comportamento da maioria dos membros do grupo: preocupação constante em propor melhorias para aumentar a produção no grupo de máquinas estudada. Com relação ao indicador OEE, verificou-se que o indicador teve um aumento significativo, atingindo valores médios de 73% após a execução das ações.

Quadro 3.11 – Segundo ciclo da pesquisa-ação: Subordinar tudo a esta restrição

As figuras 3.11 e 3.12 mostram as mudanças realizadas no layout da linha de produção e no método de trabalho.

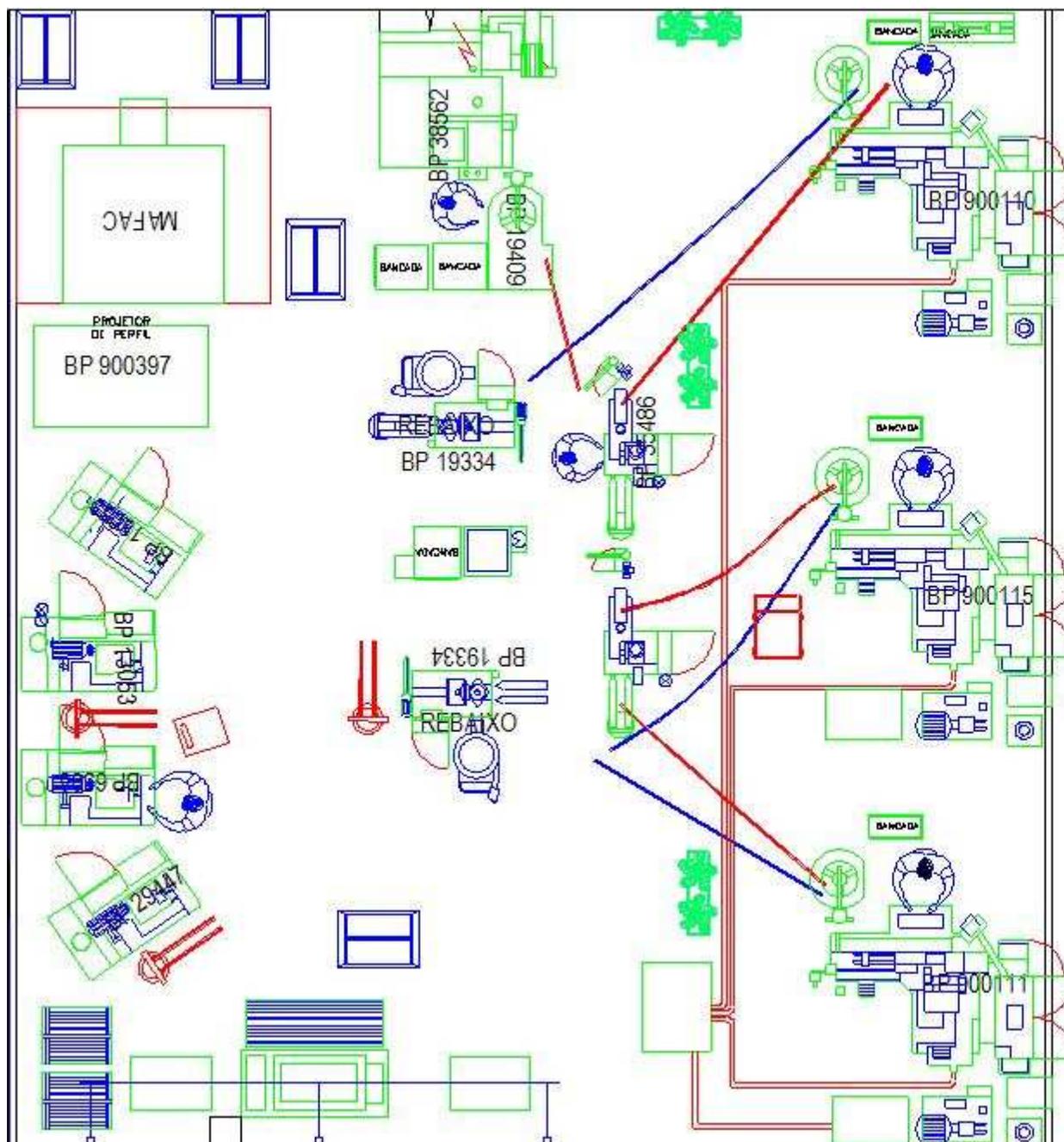


Figura 3.11 – Layout antes

Fonte: Relatório gerencial de planejamento industrial 2008

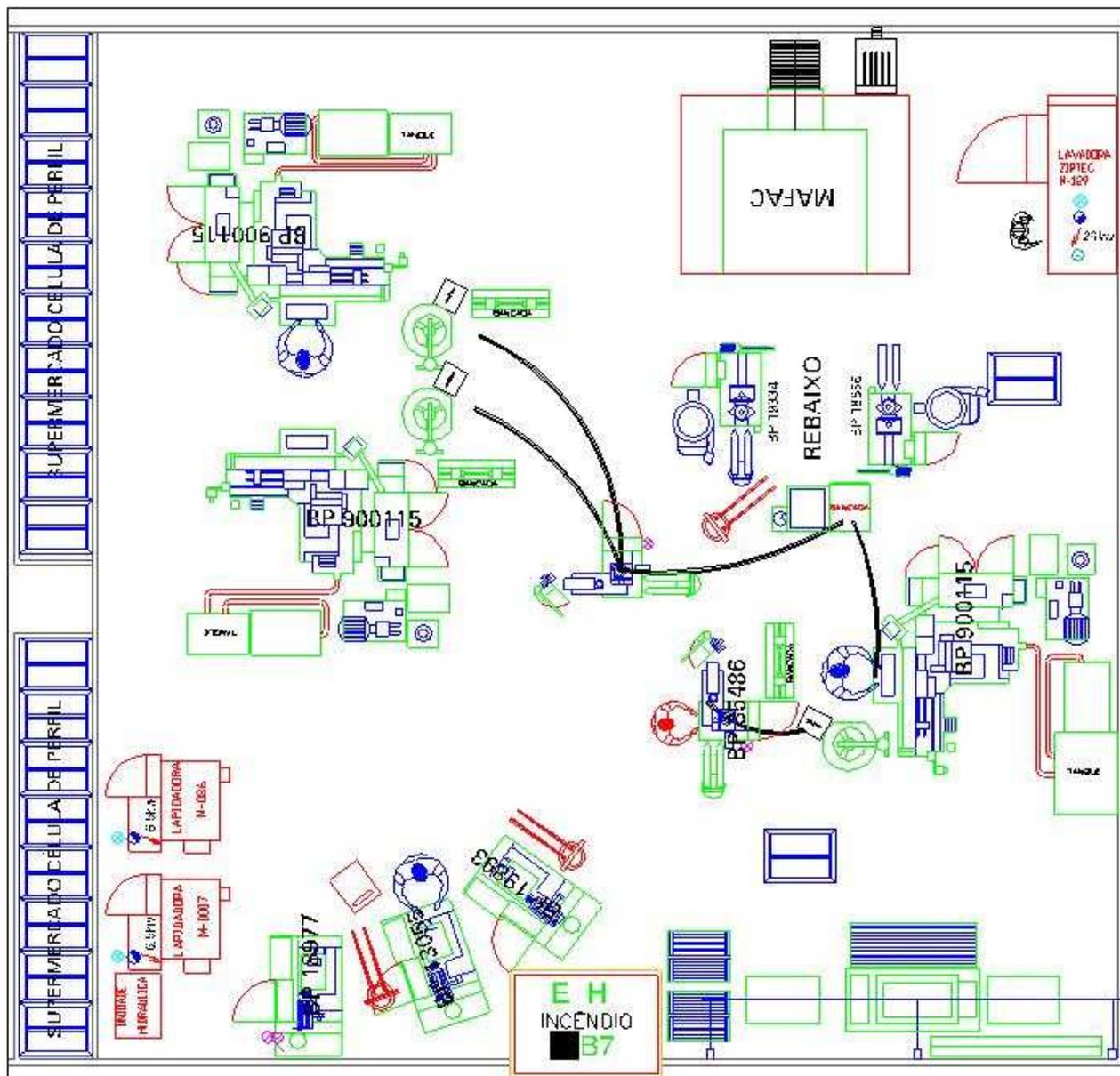


Figura 3.12 – Layout depois

Fonte: Relatório gerencial de planejamento industrial 2008

A figura 3.13 ilustra o método de trabalho elaborado com o trabalho de melhoria e que foi utilizado para o treinamento dos colaboradores da área e passou a ser referência para as demais operações da linha de produção estudada. Pode-se notar que nesse novo método de trabalho, as atividades de cada colaborador são detalhadas, bem como as intervenções mais comuns que podem acontecer nesse posto de trabalho.

4- Elevar a restrição: com a execução de todas as ações estabelecidas, verificou-se que os valores de OEE foram aumentando gradativamente, alcançando as metas de produção média estipuladas no início do trabalho. O segundo ciclo desta pesquisa-ação é finalizado com a verificação da eficácia do trabalho, bem como o refinamento de algumas informações que necessitavam ser atualizadas e disponibilizadas para a gestão de produção da linha. A finalização desse ciclo é detalhada no quadro 3.12.

Segundo ciclo da pesquisa-ação: elevar a restrição	Comentários
Coleta de dados	Para o encerramento e validação do trabalho, foram coletados dados de OEE dos três turnos produtivos, bem como da quantidade de peças boas produzidas no período de três semanas.
Realimentação dos dados	Após a coleta dos dados, a equipe optou por realizar uma análise estatística (utilizando o software MiniTab 14 ®) para validar a eficácia do trabalho.
Planejamento das ações	As ações planejadas para essa etapa consistiram: <ul style="list-style-type: none"> • Realizar teste de hipóteses com os valores de OEE e produção de peças boas por turno; • Após a realização dos testes de hipóteses, cronometrar novo tempo padrão para as principais famílias de produtos. • Atualizar o banco de dados com os novos tempos padrão devido à mudança do método de trabalho;
Implementação	A implementação das ações ocorreu nas duas semanas seguintes e dentro dos prazos estabelecidos.
Avaliação	As avaliações estatísticas comprovaram a elevação da restrição já que houve ganhos significativos de OEE e, conseqüentemente, de peças boas produzidas. De acordo com os estudos, houve um aumento de 20% na produtividade e o descarte da necessidade de compra de uma nova máquina.
Principais considerações da pesquisadora	Verificou-se nessa etapa, o amadurecimento dos conceitos de OEE e TOC na grande maioria dos membros da equipe de trabalho. Esses novos conhecimentos adquiridos ajudaram a mudar e implementar uma nova cultura: mensuração dos desperdícios e resolução de problemas. Preocupou-se nessa etapa em se realizar uma análise estatística para se comprovar a eficácia do trabalho, pois houve variações dos valores de OEE ao longo dos dias.

Quadro 3.12 – Segundo ciclo da pesquisa-ação: elevar a restrição

Para a validação dessa etapa, realizou-se um estudo estatístico comparando os indicadores de OEE antes e depois das ações de melhoria através de um teste de hipóteses. Os dados a seguir mostram o resultado desse estudo.

- H_0 = OEE antes não é menor que OEE depois;
- H_1 = OEE antes é menor que OEE depois.

Considerou-se um nível de confiança de 95%. Obteve-se um *P-value* igual a 0,011, o que prova estatisticamente que o índice de eficiência global antes é menor que o índice de eficiência global depois. A figura 3.14 mostra o gráfico de *boxplot* das médias antes e depois, obtido após o teste de hipótese realizado no software *Minitab R14*®.

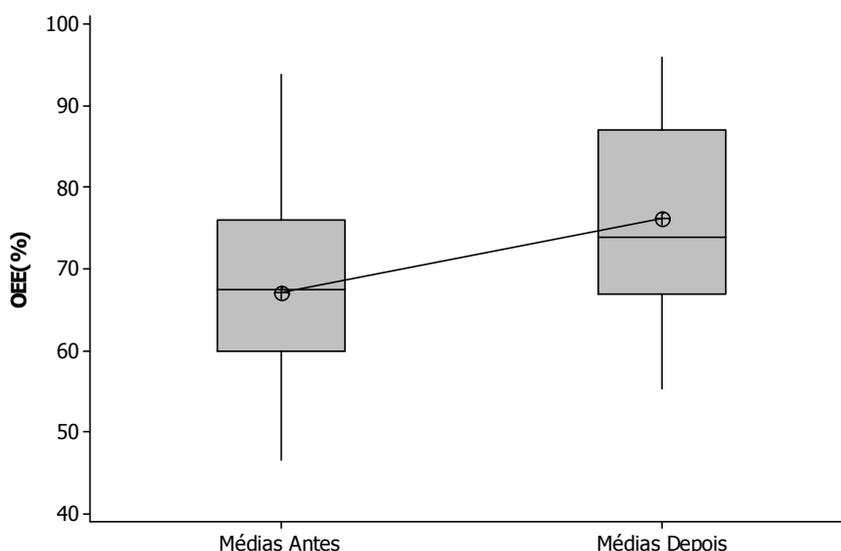


Figura 3.14 – Boxplot das médias antes e depois

Fonte: Relatório gerencial de produção 2008

O quadro 3.13 faz o resumo dos principais ganhos obtidos com a elevação da restrição.

Item	Primeiro ciclo da pesquisa-ação	Segundo ciclo da pesquisa-ação	Ganhos
OEE	65,9%	73,2%	11,1%
Disponibilidade	78,2%	83,4%	6,6%
Desempenho	84,4%	88,0%	4,2
Qualidade	99,8%	99,8%	0%
Número de máquinas	3	2	33%
Média diária de produção	43.000	52.000	20%
Produtividade (Pçs/homem/dia)	4.777 pçs/homem/dia	5.777 pçs/homem/dia	20%

Quadro 3.13 – Resultado da pesquisa-ação: ganhos obtidos na linha de produção

Fonte: Relatório gerencial de produção 2008

3. Terceiro ciclo da pesquisa-ação: Sistematização do indicador e monitoramento do OEE

5- Se a restrição for elevada, voltar à primeira etapa: como se pôde verificar no item anterior, a restrição foi elevada, pois houve um aumento da média do indicador OEE, que corresponde a um aumento significante de produção de peças produzidas em um mesmo período de tempo: aumento de 11,1% do OEE correspondeu um aumento 20% de produção. Com a nova média de produção do grupo de máquinas 4.1, a equipe de trabalho pôde-se verificar que o grupo de máquinas 9 se tornou o novo gargalo da linha de produção estudada. Sendo assim, este fato deu início a um novo ciclo de trabalho de melhoria, agora em novo grupo de máquinas. Porém, optou-se por continuar com a medição do indicador OEE do grupo de máquinas 4.1 para se ter o monitoramento da eficiência desse grupo de máquinas e para se manter um histórico de informações caso seja necessário realizar um novo trabalho de melhoria contínua. As principais considerações sobre essa etapa do trabalho estão organizadas no quadro 3.14.

Terceiro ciclo da pesquisa-ação: Se a restrição for elevada, voltar à primeira etapa	Comentários
Coleta de dados	Coleta de informações a respeito de produção média diária e dos valores de OEE antes e depois do início do trabalho pela equipe (pesquisa-ação).
Realimentação dos dados	Análise dos dados e divulgação dos ganhos obtidos para todos os envolvidos.
Planejamento das ações	Analisar a nova situação da linha de produção; Identificar o gargalo de produção e comparar com a previsão de vendas para os meses seguintes. Elaborar cronograma de trabalho para a nova restrição. Avaliar melhorias no sistema de coleta de dados e divulgação das informações a respeito de OEE para todas as pessoas envolvidas.
Implementação	As ações foram executadas dentro dos prazos estabelecidos.
Avaliação	A equipe de trabalho encerrou seu ciclo de trabalho neste grupo de máquinas, mas irá utilizar a mesma sistemática de trabalho para o próximo grupo de máquinas. Foi constatado também que a pesquisa-ação foi de extrema importância, pois através desse método foi possível adquirir conhecimento teórico sobre OEE e TOC, além de reforçar os conceitos de desperdícios proposto pelo TPS.
Principais considerações da pesquisadora	Esse ciclo da pesquisa-ação teve como foco a validação de todo o trabalho, bem como a verificação da eficácia das ações propostas pelo grupo de trabalho multifuncional. Pode-se concluir que o trabalho atingiu o objetivo com sucesso e que há oportunidades de melhoria no sistema de coleta e divulgação das informações do chão de fábrica e do OEE. Pode-se observar também que houve um crescimento intelectual por parte dos integrantes do grupo, que foi enfatizado pelos mesmos durante o encerramento do trabalho.

Quadro 3.14 – Terceiro ciclo da pesquisa-ação: Se a restrição for quebrada, voltar à primeira etapa

Como se pode verificar, o indicador OEE auxiliou na identificação e a mensuração dos desperdícios no gargalo, serviu como uma ferramenta para focalizar a redução dos principais desperdícios, levando em consideração o mix da família do produto 1 e também para a verificação da eficácia das ações. Através dos conceitos de OEE, TOC e manufatura enxuta, foi possível se obter um aumento de 20% de produtividade no grupo de máquinas gargalo da linha de produção com investimentos relativamente baixos quando comparados com a aquisição de uma nova máquina (mão de obra da equipe da

linha e alguns materiais para intervenções de máquina e mudança de layout), o que trouxe um retorno significativo para a empresa. O quadro 3.15 faz o resumo das principais etapas desse trabalho de pesquisa-ação e as das principais considerações da pesquisadora. A figura 3.15 foi elaborada pela pesquisadora juntamente com os membros da equipe de trabalho sobre os próximos passos para elevação do indicador OEE. Para a elaboração dessa figura, também se levou em consideração os seguintes itens: número de máquinas com medição de OEE (apontamento manual se torna inviável para um grande número de máquinas), número de informações e qualidade das mesmas lançadas no banco de dados (qualidade de apontamento, apontadores ligados ao CNC das máquinas), gestão à vista (andon ou sinaleiro de produção com informações *online* coletadas pelos apontadores), melhoria nas velocidades de resposta aos problemas (andon) e a autonomia dada à máquina para evitar que sejam produzidos peças com problemas de qualidade (autonomação das máquinas). Todos esses itens citados acima foram coletados durante as reuniões de análise crítica e debates (formais e informais) e foram considerados por todos como ferramentas para auxiliar na gestão operacional da linha de produção e melhoria do indicador OEE. Pode-se observar que alguns itens propostos tais como coletor automático de dados ou apontador e andon se tornam necessários a medida com que há a redução dos principais desperdícios. A medida que o indicador OEE se eleva, a velocidade de resposta para os problemas se torna mais essencial, isso porque há o refinamento das perdas e, assim, a equipe definiu as questões de apontadores e andon como oportunidades para trabalhos futuros.

Tópicos	Ciclo 1		Ciclo 2		Ciclo 3
	Restrição	Identificação da restrição	Decidir como explorar a restrição	Subordinar tudo a essa restrição	Elevar a restrição
Etapas/Melhorias	Monitoramento e medição do gargalo diariamente e por turno.	Identificação, classificação e mensuração dos desperdícios.	Implementação de ações de curto prazo e identificação de potencial de melhoria no método de trabalho.	Implantação das ações propostas nos ciclos anteriores. Aumento de produção do grupo de máquinas.	Verificação da eficácia do trabalho de melhoria e identificação do novo gargalo produtivo.
Duração	Uma semana	Quatro semanas	Oito semanas	Oito semanas	Quatro semanas
Envolvidos	Representantes da produção e da logística	Representantes da produção, processo, logística, manutenção e qualidade.	Representantes da produção, logística, processo, qualidade e manutenção.	Representantes da produção, logística, processo, qualidade e manutenção.	Representantes da produção, logística, processo, qualidade e manutenção.
	Identificação da restrição;	Mensuração do despenho das máquinas gargalo; Apresentação e debate sobre os conceitos de OEE. Levantamento dos dados, coleta e medição do OEE no grupo de máquinas gargalo. O principal foco de trabalho consistiu na melhoria da qualidade do apontamento para se obter o indicador e as principais perdas com o valor correto.	Elaboração do plano de ação com foco nos desperdícios.	Foco da equipe para melhorar o método de trabalho.	Foco da equipe para a verificação da eficácia das ações (acompanhamento diário do indicador).
Principais considerações da pesquisadora	Apresentação e debate dos conceitos propostos pela TOC.		Apresentação e debate sobre os conceitos de desperdícios segundo os conceitos da manufatura enxuta.	Apresentação e debate sobre os conceitos de método de trabalho padronizado e diagrama homem máquina.	Validação estatística da eficácia do trabalho e identificação do novo gargalo e consenso para utilização do mesmo método de trabalho e propostas de melhoria para gestão do OEE.
	A TOC pôde ser aplicada e se mostrou válida para o ambiente estudado.		OEE se mostrou uma ferramenta válida para redução dos desperdícios, pois ajudar a mensurar as perdas que antes eram consideradas apenas um “sentimento” por parte dos integrantes da equipe.	Foi possível aplicar outras ferramentas propostas pelo TPS, tais como SMED, método de trabalho padronizado (operacional e de setup) e 5S.	Objetivo da pesquisa-ação atingido. Validação da ferramenta para elevação de restrição física.
OEE	Não disponível	65,9%	73,00%	73,00%	73,30%

Quadro 3.15 Resumo das principais etapas da pesquisa-ação

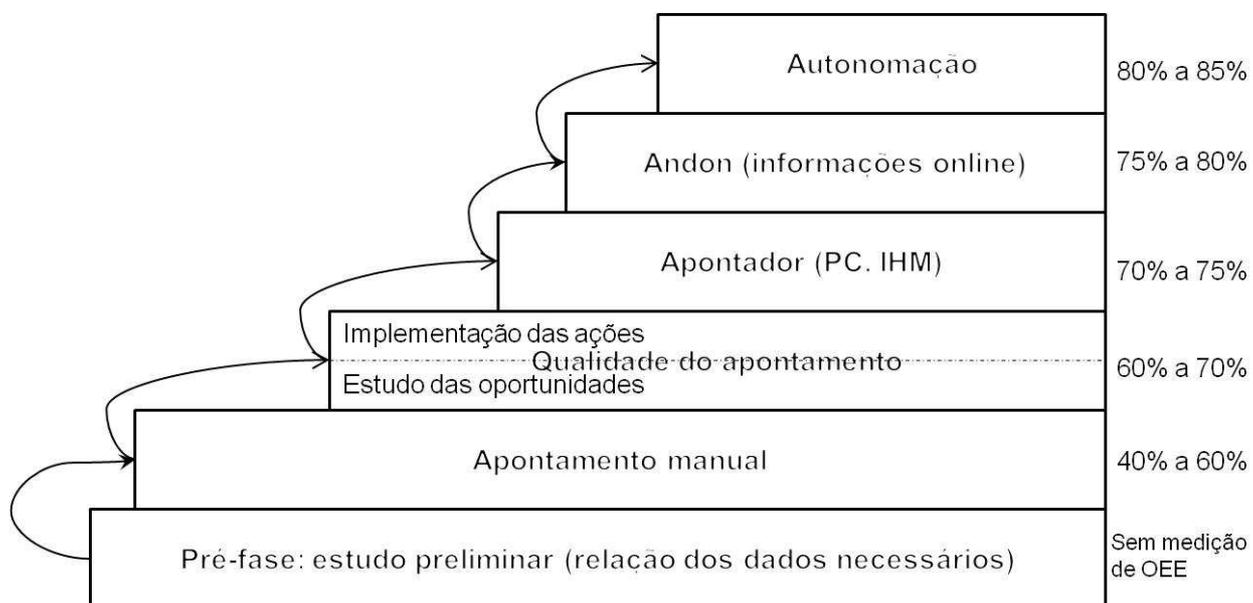


Figura 3.15 – Evolução dos trabalhos de melhoria de gestão da OEE

A pesquisa-ação mostrou-se ser um bom método de trabalho, pois em conjunto com a pesquisadora, permitiu que a empresa analisasse os ganhos das novas práticas de trabalho e o desempenho emergente da auto-avaliação seguida do projeto, da identificação dos desperdícios do gargalo produtivo e sua eliminação e/ou redução. O gargalo foi identificado e a equipe identificou as oportunidades de melhoria. Com isso, pode-se concluir que a para a elevação dessa restrição, foi de essencial importância o plano de trabalho ser elaborado e executado por todos os responsáveis ou representantes das áreas de apoio da linha de produção. Outro fato que pode ser destacado com a realização desse trabalho é que os resultados obtidos ajudam a linha de produção a atingir as metas principais estabelecidas pela estratégia da empresa, tais como aumento de 5% da produtividade da linha, redução de 5% do custo operacional e de entrega de 95% dos produtos no estoque industrial e no prazo estipulado pelo departamento de logística.

CAPÍTULO 4 - CONCLUSÃO

Este capítulo trata sobre as conclusões do trabalho em questão, bem como sugere propostas para trabalhos futuros.

4.1 Principais conclusões

O indicador OEE foi uma ferramenta utilizada pelo grupo de trabalho da pesquisa-ação e auxiliou a propor e analisar uma sistemática que identificasse as fases de um projeto de elevação da restrição, utilizando os passos propostos na TOC. OEE auxiliou principalmente na mensuração do desempenho dos equipamentos gargalos e de seus principais desperdícios. Esses desperdícios foram identificados e incluíram fatores além do próprio desempenho dos equipamentos (tempos de parada, desempenho e qualidade dos produtos). Esses outros desperdícios relacionados ao grupo de máquinas gargalo, tais como: ausência ou falta de qualificação de colaboradores, falta de informações de logística, organização da célula de manufatura, disponibilização de matéria-prima no momento correto e falta método de trabalho padronizado, também foram identificados, estudados e melhorados.

No entanto, deve-se ressaltar que o apoio da alta administração da área estudada foi um elemento relevante para a obtenção dos resultados desse trabalho. Isso porque permitiu a realização das reuniões com os membros da equipe e com os colaboradores da área produtiva, além da disponibilização de recursos necessários para o andamento desse trabalho, tais como a dedicação exclusiva da engenheira de produção para a realização dessa pesquisa-ação e os investimentos para se realizar as ações de melhoria, redução de desperdícios, além da disponibilização do aplicativo de cálculo do OEE. O apoio da alta administração da linha

estudada também foi essencial para a participação dos membros da equipe e para a realização das ações propostas durante as etapas de elevação da restrição.

A sistemática de trabalho proposta e utilizada nesse trabalho é ilustrada no quadro 4.1.

Ciclos da pesquisa-ação	OEE	Fases da TOC
1º. Ciclo	<ul style="list-style-type: none"> • Identificação da restrição física; • Levantamento dos dados; • Início da medição de OEE da(s) máquina(s) gargalo. 	Identificar da restrição
	<ul style="list-style-type: none"> • Coleta de dados; • Análise crítica do indicador OEE do período; • Identificação das perdas e elaboração do plano de ação. 	Decidir como explorá-la
2º. Ciclo	<ul style="list-style-type: none"> • Execução das ações propostas da fase anterior; • Foco da equipe na elevação da restrição (aumento de produção). 	Subordinar tudo a esta restrição
	<ul style="list-style-type: none"> • Acompanhamento dos valores de OEE obtidos para a verificação da eficácia das ações. 	Elevar a restrição
3º. Ciclo	<ul style="list-style-type: none"> • Verificação de eficácia das ações; • Comparação dos resultados e levantamento das informações; • OEE tem valor maior e estável. 	Quando a restrição for elevada, voltar ao primeiro passo
	<ul style="list-style-type: none"> • Comprovação da elevação da restrição (OEE depois das ações é maior do que o OEE antes); • Análise do cenário (nova restrição). 	

Quadro 4.1 – Sistemática proposta e utilizada para integrar OEE e TOC em um ambiente de manufatura enxuta

As etapas de trabalho realizadas nessa pesquisa-ação, bem como as etapas propostas para futuros trabalhos, são ilustradas na figura 4.1.

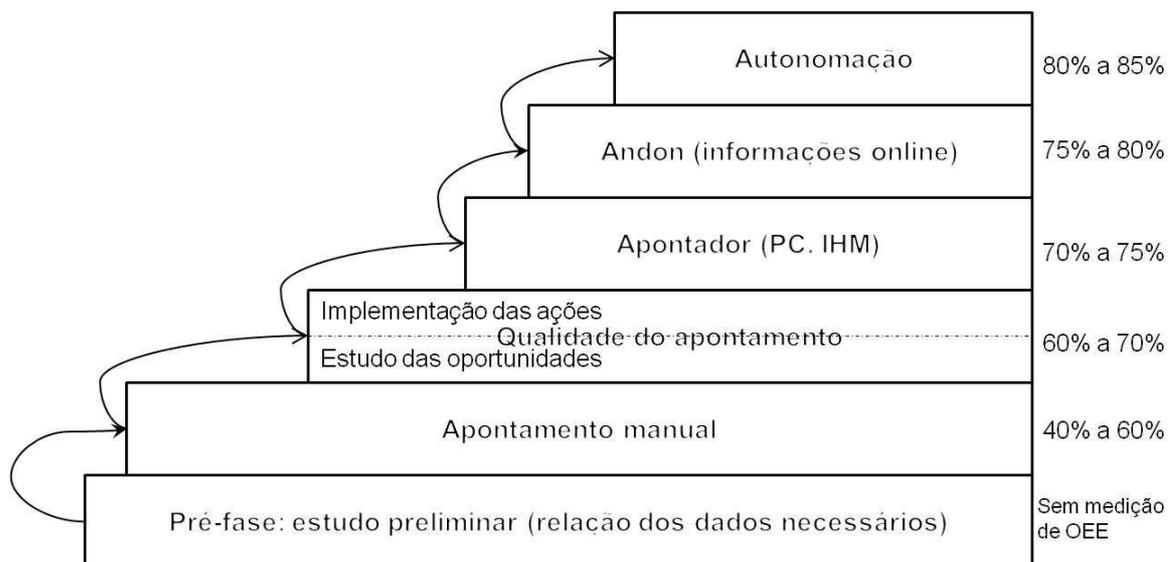


Figura 4.1 – Evolução dos trabalhos de melhoria de gestão da OEE

Sendo assim, pode-se concluir que a pesquisa-ação permitiu que se aplicassem simultaneamente os conceitos de manufatura enxuta, TOC e OEE. Com esse trabalho, foi possível verificar que o OEE pode ser aplicado como uma ferramenta de auxílio na gestão das restrições em ambientes de manufatura enxuta. Além disso, foi possível validar que os ganhos obtidos com a elevação do gargalo e com a eliminação dos desperdícios auxiliaram a empresa em termos de fatores competitivos, assim como foi explorado no item de revisão bibliográfica desse trabalho.

4.1.1 Resultados específicos

Através da pesquisa-ação foi possível concluir que existiram ganhos significativos obtidos com a elevação da restrição. Verificou-se também que a aplicação do OEE como ferramenta de auxiliou na gestão das restrições em ambientes de manufatura enxuta e que a utilização do método de pesquisa-ação foi essencial para o aprendizado e a disseminação dos conhecimentos relacionados ao indicador OEE, TOC e TPS. Já que os cinco passos da TOC levaram a criação de um ciclo constante de verificação e aperfeiçoamento das atividades e

procedimentos. Além disso, a maneira como foram tratadas as análises por meio da utilização direta do indicador permitiu que a empresa tomasse decisões sobre fatos reais, contribuindo para que a solução fosse duradoura e lucrativa para a empresa.

Assim, também foi possível verificar que como a TOC enxerga a empresa como um sistema, integrando todas as áreas, a capacidade de motivação de algumas pessoas que fizeram parte do processo de busca de soluções e melhoria foram realçadas.

O quadro 4.2 resume os principais ganhos obtidos com a realização da pesquisa-ação.

Item	Primeiro ciclo da pesquisa-ação	Segundo ciclo da pesquisa-ação	Ganhos
OEE	65,9%	73,2%	11,1%
Disponibilidade	78,2%	83,4%	6,6%
Desempenho	84,4%	88,0%	4,2
Qualidade	99,8%	99,8%	0%
Número de máquinas	3	2	33%
Média diária de produção	43.000	52.000	20%
Produtividade (Pçs/homem/dia)	4.777 pçs/homem/dia	5.777 pçs/homem/dia	20%

Quadro 4.2 – Resultado da pesquisa-ação: ganhos obtidos na linha de produção

Fonte: Relatório gerencial de produção 2008

Durante a pesquisa-ação, verificou-se a importância dos indicadores não financeiros como ferramenta para o processo de melhoria de gargalos. As informações (quantidade e código do produto que foi produzido, refugos e retrabalhos e paradas de máquinas – duração e os motivos) foram apontadas manualmente pelos colaboradores diretamente em um banco de dados durante a jornada de trabalho. Os dados apontados e a qualidade dessas informações tornaram-se essenciais para a análise da situação atual e para elaboração do processo de melhoria do gargalo. As ações para redução dos desperdícios foram planejadas e executadas de acordo com as perdas identificadas: redução de tempos de operação em vazio, melhorias de processo enfatizando a melhoria dos parâmetros de usinagem, a implantação do método de

trabalho padronizado, análise de falhas para diminuir o número de intervenções de manutenção corretiva, melhorias para a redução do tempo de setup e melhorias no sistema de programação da produção.

O OEE se mostrou uma ferramenta eficaz na identificação dos desperdícios das restrições, no processo de decisão de como explorá-las e ainda permitiu quantificar e validar estatisticamente as melhorias obtidas com a eliminação do gargalo. O OEE das máquinas estudadas passou de um patamar de 65,9% para 73,3 %, o que representou um aumento de produção em 20% na média diária. Pode-se concluir também que a para a elevação dessa restrição, foi de essencial importância o plano de trabalho ser elaborado e executado por todos os responsáveis ou representantes das áreas de apoio da linha de produção. Outro fato que pode ser destacado com a realização desse trabalho é que os resultados obtidos ajudam a linha de produção a atingir as metas principais estabelecidas pela estratégia da empresa, tais como aumento de 5% da produtividade da linha, redução de 5% do custo operacional e de entrega de 95% dos produtos no estoque industrial e no prazo estipulado pelo departamento de logística.

Este trabalho se tornou um *benchmarking* para a elevação da restrição e para a redução de desperdícios na empresa e passou a ser ampliado em outras linhas de produção e em outras linhas de produção.

4.2 Sugestões para trabalhos futuros

Sugere-se para trabalhos futuros o estudo da aplicação desse indicador em outros casos de elevação de gargalos com a utilização de coleta automática dos dados e o andon de informações *online*, bem como o impacto desses trabalhos na redução de custos dos produtos das empresas.

A melhoria no sistema de medição da eficiência de uma linha produtiva, levando em consideração as informações obtidas no OEE e das demais interferências que ocorrem em um sistema de manufatura também é sugerida como uma sugestão para pesquisas futuras. Isso porque as medições de OEE podem ser úteis para medição e redução dos desperdícios, mas não é suficiente para caracterizar sistemas de manufaturas complexos e que possuem vários tipos de interferências, tais como: utilizações da capacidade produtiva, tempos de ciclo, entregas no prazo, tempos de início de turnos de produção, etc.

Também se tem como sugestão de trabalhos futuros, a quantificação dos custos dos desperdícios identificados através do indicador OEE: custos de máquinas paradas, de perda de desempenho e de qualidade - que podem ter suas causas relacionadas tanto com problemas de máquina quanto pela falta de qualificação dos colaboradores e a disponibilidade das informações – de processos e de métodos de trabalho.

ANEXO 1

Questão de pesquisa	Técnica de coleta de dados		Comentários
	Análise documental	Entrevista	
Quais são os principais problemas encontrados no dia-a-dia da produção?			
Quais são as oportunidades de melhoria sob seu ponto de vista?			
Como OEE auxiliou na melhoria contínua dos equipamentos?			
Quais foram as dificuldades encontradas para a implementação do indicador?			

Roteiro para coleta de dados

Fonte: Elaborado pela pesquisadora

ANEXO 2

Questão de pesquisa	Técnica de coleta de dados		Comentários
	Análise documental	Entrevista (supervisor de Produção)	
Como OEE auxiliou na melhoria contínua dos equipamentos?	Gráfico de tendência do OEE; Pareto de ocupação do tempo; Pareto de frequência das ocupações do tempo.	O indicador foi essencial para quantificar as perdas dos equipamentos e, com isso, foi possível implementar projetos de melhorias.	A equipe envolvida acredita que esse indicador retrata e comprova os vários tipos de dificuldades enfrentadas no dia-a-dia do chão de fábrica.
Dificuldades?		Comprometimento da equipe envolvida no projeto; Sistema de apontamento (coleta de dados). Atualização dos tempos padrão. Volume de dados coletados.	As principais dificuldades enfrentadas observadas foram: apontamento correto dos dados e comprometimento das equipes envolvidas.
Restrições da técnica?		O elevado número de tipos de produtos requer um banco de dados para auxiliar na obtenção do indicador.	
Coleta de dados?	Apontamento manual pelos colaboradores.		A coleta de dados manual gera um grande volume de trabalho (digitação). Por isso o grande interesse em implementar o sistema de coleta automático (no próprio CLP das máquinas)

Entrevista realizada com o supervisor da área durante a pesquisa-ação

ANEXO 3

Minitab - ANÁLISE 3 OEE DEPOIS.MPJ - [Worksheet 1 ***]

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12-T	C13	C14	C15
	OEE antes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			OEE DEPOIS	
1	39,40	39,4	99,8	100,0	94,9	100,0	56,0	27,60	19,6	51,2	99,8	m1	70,450	73,2	
2	36,60	36,6	89,7	99,9	99,9	90,1	100,0	94,70	69,6	99,9	100,0	m2	80,975	65,5	
3	97,50	97,5	16,3	84,9	13,9	51,7	7,5	35,41	62,0	51,7	9,8	m3	79,063	77,0	
4	100,00	100,0	100,0	90,4	38,2	68,4	24,1	93,30	100,0	14,2	90,0	m4	64,925	67,3	
5	58,00	58,0	99,8	49,1	41,3	10,5	49,1	71,50	100,0	99,2	77,2	m5	62,075	18,1	
6	100,00	100,0	90,1	86,4	41,2	100,0	37,4	90,90	17,2	99,9	99,7	m6	59,913	80,5	
7	54,90	54,9	52,1	99,0	90,0	33,4	100,0	89,70	22,4	81,8	51,0	m7	66,651	57,1	
8	77,20	77,2	100,0	22,8	100,0	42,5	81,2	30,10	57,8	29,5	9,1	m8	56,075	78,2	
9	99,80											m9	65,925	74,5	
10	89,70											m10	67,075	69,6	
11	16,30													80,5	
12	100,00													70,0	
13	99,80													51,0	
14	90,10													53,7	
15	52,10													77,2	
16	100,00													73,4	
17	100,00													76,2	
18	99,90													84,1	
19	84,90													44,7	
20	90,40													62,9	
21	49,10													96,3	
22	86,40													26,8	
23	99,00													64,2	
24	22,80													78,5	
25	94,90													68,5	
26	99,90													78,8	

Current Worksheet: Worksheet 1

Welcome to Minitab, press F1 for help.

Results for: DADOS.MTW

Two-Sample T-Test and CI: Médias Antes; Médias Depois

Two-sample T for Médias Antes vs Médias Depois

	N	Mean	StDev	SE Mean
Médias Antes	20	65,9	12,4	2,8
Médias Depois	20	73,2	11,9	2,7

Difference = μ (Médias Antes) - μ (Médias Depois)

Estimate for difference: -9,21860

95% upper bound for difference: -2,74632

T-Test of difference = 0 (vs <): T-Value = -2,40 P-Value = 0,011 DF = 37

Individual Value Plot of Médias Antes; Médias Depois

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, J.H.; Make lean manufacturing work for you. Manufacturing Engineering, volume 6, p-54-64, 2000.

ANTUNES, J.; Em direção a uma teoria geral do processo na administração da produção: Uma discussão sobre a possibilidade de unificação da teoria das restrições e da teoria que sustenta a construção de sistemas de produção com estoque zero. Tese de Doutorado. Porto Alegre, RS, Brasil: UFRGS, 1998.

APPOLINÁRIO, F.; Metodologia da ciência – filosofia e prática de pesquisa. Editora Pioneira Thomson Learning, São Paulo, 2006.

ARAÚJO, K. T. D.; SOUZA, A. C. M.; SEVERINO FILHO, C.; FEITOZA, J. S. O.; Análise do sistema de avaliação e medição da produtividade utilizando o SAPROV - Sistema de avaliação da produtividade vetorial para a manufatura avançada em um hospital na Paraíba. XIII SIMPEP, Bauru, SP, 2006.

BORCHARDT, M.; Diretrizes para implementação dos princípios da manufatura enxuta: o caso das empresas de transporte coletivo rodoviário urbano. Tese (doutorado em engenharia de produção). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 2005.

BOYD, L.; GRUPTA, M.; Constraints management – What is the theory?. International Journal of Operations & Production Management, Volume 24, pp.350-371, 2004.

BRAGLIA, M., FRONSOLINI, M. AND ZAMMORI, F.; Overall equipment effectiveness of a manufacturing line (OEEML) - An integrated approach to assess systems performance. Journal of Manufacturing Technology Management, Vol.20, No.1, 2009.

BRYMAN, A.; Research methods and organization studies (contemporary social research). Routledge, 1st Edition, London 1989.

BROWN, S.; New evidence on quality in manufacturing plants: a challenge to lean production. *Production and Inventory Management Journal*, First quarter, p.24-29, 1998.

CHIARADIA, A.; Utilização do indicador de eficiência global dos equipamentos na gestão de melhoria contínua dos equipamentos. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Escola de Engenharia. Porto Alegre, RS, 2004.

COGHLAN, D.; BRANNICK, T.; Doing action research in your organization, Sage Publications, London, 2001.

COUGHTLAN, P.; COGHLAN, D.; Action research for management. *International Journal of Operation & Production Management*, Volume 22, Number 2, 2002.

COSTA, G. S. E.; LIMA, E. P.; Uses and misuses of the overall equipment effectiveness for production management. *Proceedings of IEMC 2002, IEEE International*, volume 2, pp.816-820.

DIAS, F. T.; Proposta de uma metodologia baseada em indicadores de desempenho para avaliação de princípios à produção enxuta: um estudo de caso em uma empresa fabricante de produtos para o setor médico-hospitalar. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de São Carlos, SP, 2003.

FERREIRA, A. H.; Aspectos importantes na implantação da teoria das restrições na gestão da produção: um estudo multicaso. Dissertação de mestrado. Faculdade de Economia e Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto/ USP. Ribeirão Preto, 2007.

FILHO, M. G.; FERNANDES, F. C. F.; Manufatura enxuta: uma revisão que classifica e analisa os trabalhos apontando perspectivas de pesquisas futuras. *Revista Gestão e Produção*, volume 11, número 1, p.1-19, 2004.

FORZA, C.; Work organization in lean production and traditional plants. What are the differences? *International Journal of Operations and Production Management*, volume 17, number 7, p.655-670, 1997.

GAITHER, N.; FRAZIER, G.; Administração da produção e operações. 8ª. Edição. São Paulo. Editora Pioneira Thompson Learning, 2002.

GARDNER, S. C., BLACKSTONE J.H.; GARDNER, L.; The evolution of the theory of constraints. *Industrial Management*, May/Jun 1994, 36, 3; *ABI/INFORM GLOBAL*, Page 13.

GOLDRATT, E. M., COX, J.; “A Meta”. São Paulo, Editora Educador, 1994.

GOLDRATT, E. M., What Is This Thing Called the Theory of Constraints and How Should It Be Implemented?. North River Press, Croton-on-Hudson, NY, 1990.

GUERREIRO, R.; A meta da empresa. Segunda edição. São Paulo. Editora Atlas, 1999.

HAMPSON, I.; Lean production and the Toyota Production System – or, the case of the forgotten production concepts. *Economic and Industrial Democracy*, volume 20, number 3, p.369-391, 1999.

HANSEN, R. C.; Eficiência Global dos equipamentos – Uma poderosa ferramenta de produção/manutenção para aumento dos lucros. Editora Bookman, Porto Alegre, 2006.

INMAN, R. A.; SALE, M. L.; GREEN, K.W.; Analysis of the relationships among TOC use, TOC outcomes, and organizational performance. *International Journal of Operations & Production Management*. Volume 29, No.4, pp. 341-356, 2009.

INVERNIZZI, G.; O sistema lean de manufatura aplicado em uma indústria de autopeças produtora de filtros automotivos. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de engenharia Mecânica. Campinas, SP, 2006.

JEONG, K.; PHILLIPS, D. T.; Operational efficiency and effectiveness measurement. International Journal of operations & production management, vol.21, number 11, p. 1404-14148. 2001

JONSSON, P. & LESSHAMMAR, M.; Evaluation and improvement of manufacturing performance measurement systems – The role of OEE. International Journal of operation & Production management, 1999.

KATAYAMA, H.; BENNETT, D.; Agility, adaptability and leanness: a comparison of concepts and a study of practice. International Journal of production Economics, volume 60-61, p.43-51, 1999.

LJUNGBERG, O.; Measurement of overall equipment effectiveness as a basis for TPM activities; International Journal of Operations & Production Management, Volume 18, No.5, 1998.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. V.; Fundamentos de metodologia científica. 6ª. Edição, Editora Atlas, São Paulo, 2006.

MAXIMIANO, A. C. A.; Introdução à administração. 7ª. Edição, Editora Atlas, São Paulo, 2008.

MIGUEL, P. A. C.; QFD no desenvolvimento de novos produtos: um estudo sobre a sua introdução em uma empresa adotando a pesquisa-ação como abordagem metodológica. Revista Produção, Volume 19, Número 1, 2009.

MOSELLI, A. M. M.; MENDES, R. R. A. M.; TURRIONI, J. B.; SILVA, C. E. S.; Rolled Throughput Yield – Gerenciamento da fábrica oculta de uma indústria de autopeças. XI SIMPEP, Bauru, SP, 2004.

MOTWANI, J.; VOGELSANG, K.; Theory of constraints in practice – at Quality Engineering INC., Managing Service Quality, Volume 6, 1996.

NAKAJIMA, S.; Introdução ao TPM – Total Productive Maintenance. São Paulo: IMC, Internacional Sistemas Educativos Ltda., 1989.

NORD, C.; JOHANSSON, B.; National comparison of OEE – potencial for increased competitiveness in Swedish industry. IVF – skrift 97848, 1997.

OECHSNER, R.; PFEFFER, M.; PFITZNER, L.; BINDER, H.; MULLER, E.;
VONDERSTRASS, T.; From Overall equipment efficiency (OEE) to overall Fab effectiveness (OFE), Materials Science in Semiconductor Processing 5, p.333-339, 2003.

POMORSKI, T.; Managing Overall Equipment Effectiveness (OEE) to Optimize Factory Performance. IEE Transactions on semi-conductor manufacturing, Volume 10, number 1, 1997.

OHNO, T., O sistema Toyota de Produção - Além da produção em larga escala. Porto Alegre, Editora Bookman, 1997.

PRINCE, J.; KAY, J.M.; Combining lean and agile characteristics: creation of virtual groups by enhances production flow analysis. International Journal of Production Economics, volume 85, p.305-318, 2003.

RAHMAN, S.; Theory of constraints A review of the philosophy and its applications. International Journal of Operations & Production Management. 1998, Vol.4, MCB

RON, A. J., ROODA, J. E.; Equipment Effectiveness: OEE Revised. IEEE Transactions on semi-conductor manufacturing, Volume18, No.1, 2005.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; AMARAL, D. C.; TOLEDO, J. C.; SILVA, S. L.;
ALLIPRANDINI, D. H.; SCALICE, R. K.. Gestão de desenvolvimento de produtos. Uma referência para a melhoria do processo. São Paulo: Editora Saraiva, 2006.

ROTHER, M.; SHOOK, J.; Aprendendo a enxergar: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício. New York: Lean Institute Brasil, 2000.

SALGADO, E.G.; Investigação dos desperdícios no processo de desenvolvimento de produtos por meio da abordagem da produção enxuta. Dissertação de mestrado. Universidade federal de Itajubá. Itajubá, MG, 2008.

SÁNCHEZ, A. M.; PÉREZ, M. P.; Lean indicators and manufacturing strategies. *International Journal of Operations & Production Management*, Volume 21, Number 11, pp. 1433-1451, 2001.

SHAH, R.; WARD, P.T.; Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance. *Journal of Operations Management*, v.335, p.1-21, 2003.

SHINGO, S.; O Sistema Toyota de Produção - Do ponto de vista da engenharia de produção. Porto Alegre, Editora Bookmann, 1996.

SIHA, S.; A classified model for applying the theory of constraints to service organizations. *Management Service Quality*, Volume 9, Number 9, pp.255-264, 1999.

SILVA, V. C. O.; Análise de casos de implementação de produção enxuta em empresas brasileiras de máquinas e implementos agrícolas. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos. 2006.

SIMATUPANG, T. M.; WRIGHT, A. L.; SRIDHARAN, R.; Applying the theory of constraints to supply chain collaboration. *Supply Chain Management: An International Journal*, Volume 9, Number 1, pp.57-70, 2004.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; HARLAND, C.; HARRISON, A.; JOHNSTON, R.; Administração da produção. 1ª. Edição, Editora Atlas, São Paulo, 1997.

SOLIMON, F.; Optimum level of process mapping and least cost business process re-engineering. *International Journal of Operation & Production Management*, Volume 18, no. 9/10 1998.

TAJ, S.; BERRO, L.; Application of constrained management and lean manufacturing in developing best practices for productivity improvement in an auto-assembly plant. *International Journal of Productivity and Performance Management*, volume 55, number 3/4, pp.332-345, 2006.

TANGEN, S.; An overview of frequently used performance measures. *Work Study* 7; pp.347-354, MCB-UP Limited, Emerald, 2003.

THE PRODUCTIVITY DEVELOPMENT TEAM, OEE for operators. Shopfloor Series; University Press, 1999.

THIOLLENT, M.; Metodologia da pesquisa-ação, Cortez editora, 14ª. Edição, São Paulo, SP, 2005..

TRIPP, D.; Pesquisa-ação: uma introdução metodológica. *Revista Educação e Pesquisa*, São Paulo, SP, Volume 31, 2005.

WATROUS, C.; PEGELS, C.; Application of theory of constrains to a bottleneck operation in a manufacturing plant. *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol.16, No.3, 2005.

WATSON, K. J.; BLACKSTONE, J. H.; GARDINER, S. C.; The evolution of management philosophy: The theory of Constraints. *Journal of Operation Management*, volume 25, number 2, pages 387-402, 2007.

WOMACK, P.J.; JONES, D.T.; A mentalidade enxuta nas empresas – Lean Thinking – Elimine o desperdício e crie riquezas. Editora Campus, Rio de Janeiro, RJ, 2004.

WOMACK, J.P.; JONES, D. T.; ROOS, D.; A máquina que mudou o mundo. Rio de Janeiro, RJ, Editora Campus, 1992.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS COMPLEMENTARES

BALDERSTONE, S.; MABIN, V.; The performance of the theory of constraints methodology. International Journal of Operation & Production Management, Vol.23, Nº 6, 2003.

BERRO, S. T.; LISMAR; Application of constrained management and lean manufacturing in developing best practices for productivity improvement in an auto-assembly plan. International Journal of Productivity and Performance Management. 2006.

EISENHARDT, K. M.; Building theories from case study research, The Academy of Management Review, Vol.14, Nº 4, Oct. p. 532-550, 1989.

GRUPTA, L. B.; MAHESH.; Constraints management - What is the Theory?. International Journal of Operations & Production Management. 2004, Vol. Vol.24, pp. pp. 350-371.

JOHNSON, H. T. AND KAPLAN, R.S.; Relevance Lost: The Rise and Fall of Management Accounting. Boston: Harvard Business School Press, 1987.

PEGELS, C. C.; WATROUS, S.; Application of theory of constraints to a bottleneck operation in manufacturing plant. journal of manufacturing technology management, volume 6, number 3, pp.302-311, 2005.