



A interferência da disponibilidade de máquinas de linha industrial na demanda da cadeia de suprimentos: um estudo de caso.

Carlos Jefferson de Melo Santos – Carlos.jeferson@gmail.com
Universidade Federal da Bahia, Departamento de Engenharia Mecânica – Escola Politécnica
Rua Professor Aristides Novis N 02 - Zona Urbana - Federação, BA
Salvador – Bahia

Resumo: *Conforme a demanda aumenta nas grandes indústrias e o mercado acelera as suas vendas de produtos manufaturados, a disponibilidade das máquinas em linhas fabris detêm uma grande variável que deve se manter constante e com alta confiabilidade. Oscilações indeterminadas e inesperadas promovem um grande distúrbio na cadeia produtiva e no planejamento operacional de produtos acabados e industrializados. Este artigo desdobra as informações com estudo de caso relacionado as possíveis quebras de processos industriais e suas consequências na organização e mercado.*

Palavras-chave: *Manutenção de Equipamentos, WMS, Cadeia de Suprimentos, Planejamento e Controle da Produção*

1. INTRODUÇÃO

Nos dias em que as operações devem ser cada vez mais enxutas e direcionadas para um tempo mínimo de processo, todas as formas de otimização de custos e perdas devem ser estudadas de acordo com o fluxo industrial. Desta análise, o incremento de novas metodologias e modelos de estoques e confiabilidade de máquinas industriais deve ser considerado, face às restrições de aquisição de matérias primas, tais como existência de baixa quantidade de fornecedores de insumos de qualidade, o tempo e gasto logístico em que estes chegam a unidade produtiva e as diversas formas de indisponibilidade das máquinas para que estes insumos possam entrar no processo e formarem produtos acabados. A utilização de ferramentas da qualidade e indicadores nos processos podem minimizar as quebras assim como achar um termo comum e antever a demanda de suprimentos.

Objetiva-se neste estudo a maximização de produção, redução de custos nas linhas industriais e remodelagem de aquisição de insumos partindo da confiabilidade das máquinas industriais relacionadas às suas interferências na demanda da cadeia de suprimentos,



utilizando-se os indicadores de Manutenção da Confiabilidade correlacionados a Teoria dos Estoques, bem como previsão da demanda e eficiência produtiva.

2. METODOLOGIA

Para esta pesquisa, focou-se na revisão bibliográfica e desdobramento de conceitos relacionados à sinergia da Confiabilidade dos Equipamentos de Processos, sejam eles de indústrias ou entidades de mercados diversos, com a Demanda da Cadeia de Suprimentos, conforme Teoria dos Estoques. Para atingir estes conceitos, foram definidas as métricas e fluxos do macro processo industrial assim como a interferência direta das demandas de mercado para o planejamento e controle da produção direcionada às linhas industriais. Com base nestes conceitos desenvolveu-se um modelo de processos da manutenção que se adegue aos diversos insumos dos processos produtivos, objetivando menores custos de estocagem e manutenção corretiva assim como redução do *lead time* na manufatura.

Esta análise foi realizada através da previsão da confiabilidade das máquinas industriais e da conjuntura e oscilação do Planejamento da Produção que são afetadas diretamente pelo mercado de suprimentos (insumos) e clientes (produto acabado), embasado no estudo de caso em sopradoras de plásticos em uma empresa de saneantes.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA;

3.1. MODELO DE DEMANDA DE SUPRIMENTOS E ESTOQUE

Segundo Moreira (1993), os objetivos básicos dos estoques são os de ligar vários fluxos entre si e também proporcionar determinadas economias na produção. Destas grandes funções, podem ser repartidas em funções parciais:

- a) Os estoques cobrem mudanças previstas no suprimento e na demanda;
- b) Os estoques protegem contra incertezas;
- c) Os estoques permitem produção e compras econômicas;

Porém, segundo Falconi (2009), a operação produz o valor que é adicionado no Processo. Existem operações que não agregam valor como, por exemplo, transporte, inspeção e estocagem, que devem ser continuamente eliminados ou minimizados. Contudo, no caso de



incertezas de indisponibilidade de máquinas, mediante sua atividade, deve-se direcionar a um estoque mínimo, chamado por Moreira (1993) de estoque de segurança, que viabiliza, para os casos de quebras de processo industriais (produção exacerbada de avarias, rebarbas, etc.), um *imput* a mais para a demanda de linha, focando não haver perdas em termos de tempo e custo nas paradas da produção.

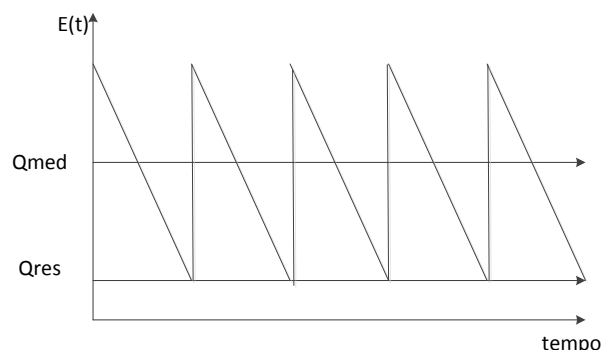
Para a aquisição de materiais atendendo uma demanda de suprimentos regular em uma determinada linha de produção industrial, os cálculos de demanda e de estoque de segurança devem ser contabilizados mediante o que realmente a produção consome. Pode-se calcular, segundo Moreira (1993) com o modelo do LEC (Lote Econômico de Compra), que seria a quantidade de compra exata no momento propício, vinculado com o estoque de segurança:

$$Q_{med} = \frac{Q_c}{2} + Q_{res} \quad \text{Equação 3.1.1}$$

$$LEC = \left[\frac{2 \cdot C_p \cdot D}{C_m} \right]^{1/2} \quad \text{Equação 3.1.2}$$

Sendo o Q_{med} a representação da Quantidade Média de estoque, Q_c a quantidade de compra para assegurar o estoque de segurança Q_{res} . O LEC também é definido pelo C_p que exprime o custo de pedir o lote (custo administrativo), o C_m como sendo o custo manter (custo de manutenção do lote em estoque) e D , sendo a demanda anual de mercadorias. Considerando $E(t)$ o nível de estoque no instante t , pode-se verificar o comportamento das compras partindo da média de estoque e do estoque de segurança:

Figura 1 – Modelo gráfico de reposição de matéria prima



A utilização de ferramentas e sistemas de informação (ERP) como o WMS (*Warehouse Management System*) torna-se essência para um detalhamento das informações e direcionamento das demandas produtivas. Conforme Simchi-Levi e Kaminsky (2010)



descrevem, podemos dividir em três partes relativo às importâncias que o sistema WMS logístico possui para o cadeia de suprimentos:

- * A percepção dos clientes que informações sobre situação do pedido, disponibilidade de produtos, programação de entrega e faturamento, são elementos do serviço total ao cliente;

- * A possibilidade das metas de redução de estoque na cadeia de suprimentos serem alcançadas com a utilização de informações que possibilitem gerenciar de forma eficaz as necessidades de estoque e recursos humanos;

- * O aumento da flexibilidade, permitindo identificar por meio das informações (qual, quanto, como, quando e onde), os recursos que podem ser utilizados para que se obtenha vantagem estratégica.

O sistema também dirige e otimiza a disposição de "put-away" ou colocação no armazém, baseado em informações de tempo real sobre o status do uso de prateleiras. Porém, para uma inatividade inesperada de algum equipamento, o comportamento da demanda sofrerá variações significativas (a depender da dimensão da parada da máquina), independente do sincronismo das informações que o ERP gera para as áreas envolvidas. Desta forma, as áreas de PCPM (Planejamento e Controle da Produção e Materiais) ou PCP, assim chamadas áreas de planejamento industrial, devem se antever a estas ocorrências de forma paralela a não criar grandes estoques ou deixar a espera clientes com ordem de produção (OP) já realizada. Deve-se otimizar a produção em termos de recursos disponíveis, realizando um mix de produção que possa atender a demanda posterior a atual sem que afete o prazo de entrega global dos produtos.

3.2. MODELO GERENCIADOR DA MANUTENÇÃO

O que não se mede não se gerencia (DEMING). Medir indicadores de desempenho de máquinas, suas quebras, ocorrências de falhas e paradas levam a um estudo analítico sobre o equipamento, sua previsão de produção ativa e quais serão as manutenções necessárias para não impactar na produção. Só assim, as unidades fabris terão maiores estudos analíticos para atingir uma confiabilidade plena dos maquinários.

Inspeção em equipamentos e produtos podem conduzir a uma garantia de estabilidade no processo, tendo como direcionamento a análise de causa e efeito de problemas acentuados que se apresentam no dia-a-dia. O sucesso da análise depende de uma correta definição e



identificação do problema. As identificações são descritas de acordo com os indicadores estabelecidos de manutenção no direcionamento de Disponibilidade de Máquinas ou Equipamentos, conforme Flogliatto e Ribeiro (2009) descreve:

- Tempo Médio entre Falhas (TMF ou MTBF) - É o tempo médio entre falhas, ou seja, o tempo médio de funcionamento da unidade;
- Tempo Médio para a Falha (MTFF) – É o tempo médio até a conclusão de reparos feitos na unidade;

Para o Tempo Médio de Reparos, a análise é efetuada desde o momento em que a não conformidade é identificada ou será identificada mediante indicativos do próprio item:

“O MTTR, o Tempo Médio de Reparo (ou Recuperação), é o tempo previsto até a recuperação do sistema após uma falha. Ele pode incluir o tempo que leva para diagnosticar o problema, o tempo até a chegada de um assistente técnico nas instalações e o tempo que leva para reparar o sistema fisicamente.” (TORELL e AVELAR, 2004)”.

A disponibilidade então assume um valor quantitativo associado ao MTFF e MTBF, com o tempo médio entre falha seguido da razão das somas dos indicadores quantitativos.

Além destes, há os indicadores qualitativos, que podem ser essenciais na confiabilidade de uma máquina, conforme Fogliatto e Ribeiro (2009) definem:

- Manutenibilidade – é definido como a capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas;
- Qualidade – de forma mais específica, é definido como o cumprimento das especificações de projeto e manufatura com menor variabilidade possível;
- Dependabilidade – também chamado de confiança, designa o coletivo, incluindo a disponibilidade e seus fatores determinantes, tais como Desempenho da Confiabilidade, da Manutenibilidade e Suporte Técnico.

A partir destes indicadores, pode-se inferir o quanto o fator tempo irá ser definitivo na tomada de decisão na programação de máquinas e equipamentos, devido ao histórico produzido dos seus indicadores individuais. Com esta análise, a Manutenibilidade será o fator direto de previsão da demanda da cadeia de suprimentos, devido à programação destes equipamentos para o consumo de matéria prima. O direcionamento do Estoque de Segurança também será afetado caso haja uma variabilidade de itens a serem produzidos com poucas máquinas ativas. Como os custos Fixos de Produção são pré-definidos e o custo variável

depende do que foi produzido (MARTINS 2000), em casos em que uma Linha chamada A esteja inativa, os insumos em comum a Linha B serão consumidos de forma agressiva, visto que a demanda programada para esta linha poderá estar prevista para os dias posteriores. Esta antecipação levará a perda do controle de estoque, formando na empresa produtora uma dependência direta do fornecedor. Para estes casos, a localização e a logística dos itens faltantes será decisiva para a contínua produção dos itens da linha B e para a linha A, caso sejam matérias primas em comum.

Com estas definições, segundo MOREIRA (1993), o Controle do Estoque faz o papel de elemento regulador de fluxo de produção. Porém, atrelados aos indicadores de manutenção e seu comportamento mediante o tempo, o fluxo de produção deverá ser enxuto, balizando os fatores custos e despesas de máquinas e estoques desnecessários. Segundo De Maria e Novaes (2011), considerar a confiabilidade do equipamento para a determinação do estoque de segurança, no ambiente modelado, é vantajoso por garantir uma cobertura maior de estoque contra problemas de indisponibilidade por quebras. Através também dos seis aspectos diferentes da Confiabilidade, pode-se aprofundar estas interferências da gestão de estoque, visto que este indicador qualitativo também é definido com várias restrições e possíveis erros a serem minimizados (SHERIF, 1980):

1. Estatística – Integridade na coleta de dados, nos dados e nas avaliações;
2. Estocástica – Identificação de características de confiabilidade de sistemas, estimativa, predição e etc.;
3. Engenharia - Planejamentos, projetos, desenvolvimentos, produção, redundância de hardware, diversidade de software, etc.;
4. Interface – Sistemas de interações de homem-máquina, responsabilidades, comunicação, informação, etc.;
5. Horários de inspeção e manutenção periódicas – sequencial, oportunista, vigilância, bloco, etc.;
6. A tomada de decisão – Objetivos, prontidão operacional, disponibilidade, otimização e restrições.;

Destas, a tomada de decisão, focada na formação da programação de produção e disponibilidade de materiais, será determinante para redução de custo por falta ou acúmulo de matéria prima, perda de produtividade ou falta de produto acabado para o consumidor final.



4. O CASO APLICADO A DUAS MÁQUINAS SOPRADORA COMPARTILHADAS COM UM DOS INSUMOS EM COMUM.

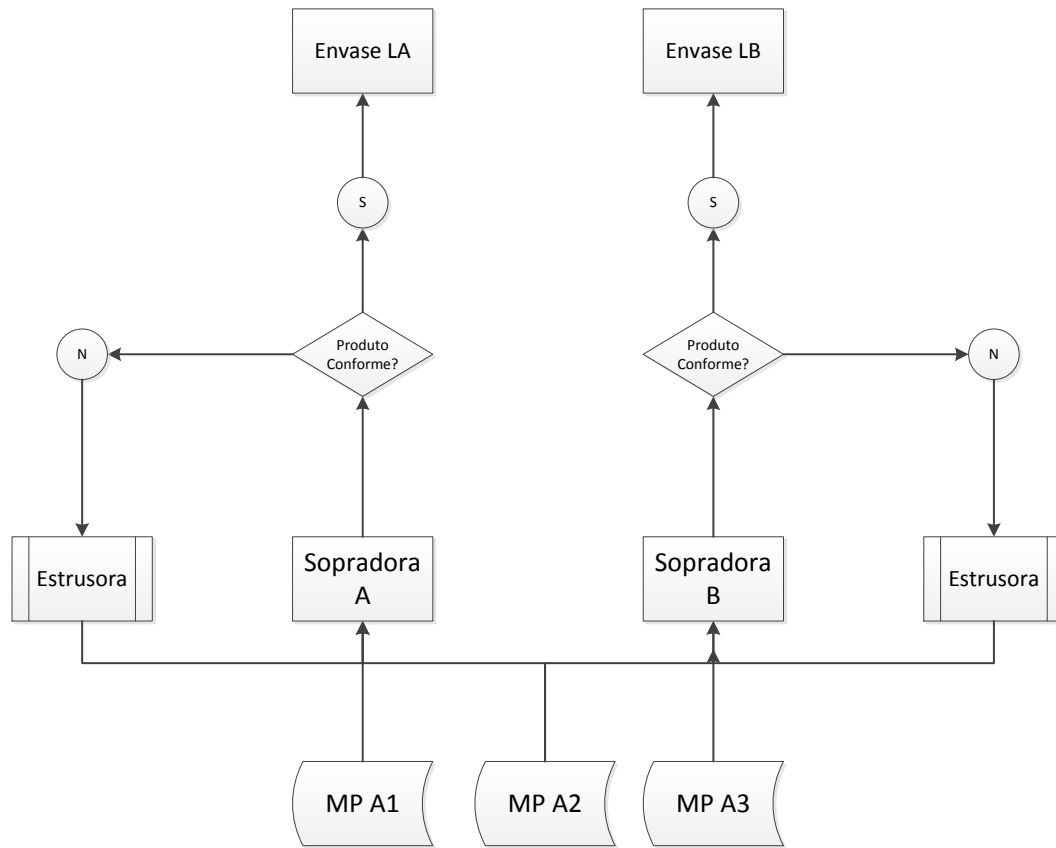
4.1.A EMPRESA

Com um dos maiores arsenais de máquinas sopradoras de plásticos PEAD (Polietileno de Alta Densidade) e PET (Poliestireno), a empresa em estudo localiza-se na Região Metropolitana de Salvador, com sua Matriz Corporativa no estado de São Paulo. Seu produto final direciona-se a itens de Higiene e Limpeza. Para tal, fabrica suas próprias embalagens em suas unidades produtoras, tornando-se a etapa crítica do processo de enchimento dos produtos líquidos.

4.2. O PROCESSO DE FABRICAÇÃO

Em linha produtiva, existem várias sopradoras com vários moldes de produção, de acordo a demanda e tipo de produto a ser fabricado e posteriormente vendido. O tempo médio de sopro (processo assim chamado da fabricação do frasco plástico) e seu armazenamento equivale há 5 segundos, enquanto o seu enchimento na linha de envase equivale a 2 segundos. O Sopro, assim também chamada a área de produção de embalagens, torna-se uma área crítica para o desenvolvimento e expedição do produto acabado. Suas máquinas de produção, seus colaboradores e seu gerenciamento tornam-se fatores cruciais da manufatura destes materiais, visto que o processo depende de cada célula industrial, conforme fluxograma e mapeamento realizado na figura 2:

Figura 2 – Fluxograma de Processo da Fabricação de Frascos Plásticos



Neste fluxo, há 2 sopradoras com 2 produtos intermediários diferentes. Tem-se o frasco do tipo A fabricado na sopradora A e o frasco do tipo B produzido em outra sopradora. Para a fabricação do frasco tipo A, necessita-se de matérias primas do tipo A1 e A2, assim como para a produção do tipo B precisa-se das matérias primas A2 e A3. Como o insumo A2 é uma matéria prima comum as duas sopradoras, chamado assim de PEAD (Polietileno de Alta Densidade), precisa-se de altos pedidos com formação de estoques com tempos mínimos, de forma a reduzir a probabilidade de estoque zero para estes insumos. Caso o produto não seja produzido com Qualidade (isento de furos, rebarbas e/ou deformações), os mesmos são encaminhados para as extrusoras, sendo moídos e realocados no processo na própria sopradora. Com o frasco dentro dos parâmetros requisitados, os mesmos são alocados nas linhas de enchimento para inserção dos líquidos saneantes.

O estoque mínimo de Polietileno de Alta Densidade (PEAD) pode ser inferido pelo cálculo do estoque de segurança, assim como o LEC (Lote Econômico de Produção) torna-se fundamental na economia das compras e pedidos deste insumo, visto que sua entrada é constante na linha de produção. O processo assim, com os maquinários em operação regular,



os recursos humanos atuantes e o efetivo de vendas (explicitar vendedores) absorvendo esta vazão de produção, direciona um sistema produtivo enxuto e otimizado. Dado o quadro com todas as informações de produtividade e consumo de insumo destas sopradoras, as restrições iniciais para que as mesmas consumam o programado são:

1. Uma ou as duas sopradoras apresentarem quebras de processos;
2. Interferências administrativas;
3. Interferências operacionais ou de manutenção;
4. Parada prevista ou demandada.

Desprezando as demais, para uma quebra de processo industrial (parada de máquina por defeito/quebra), toda a programação desta estará comprometida, proporcional ao tempo em que a mesma ficou parada para concerto, avaliado pelo MTFF. Anteriormente, o maquinário agregava um valor ao MTBF até o momento em que o mesmo parou de funcionar. Inferindo a quebra para a Sopradora A, que produz mais frascos em menos tempo quando comparada com a Sopradora B, independente da programação de produção que a segunda tinha, haverá uma contínua produção de frascos para a linha B para não haver perda de mão de obra, assim como os demais custos fixos de produção.

Tabela 1 – Dados comparativos de consumo de matéria prima e produção de frascos

Item/Sopradora	Sopradora A	Sopradora B
Quant. Frascos/min	45	26
Consumo MP A1/dia	0,8 toneladas	-
Consumo MP A2/dia	4 toneladas	1,5 tonelada
Consumo MP A3/dia	-	0,75 toneladas

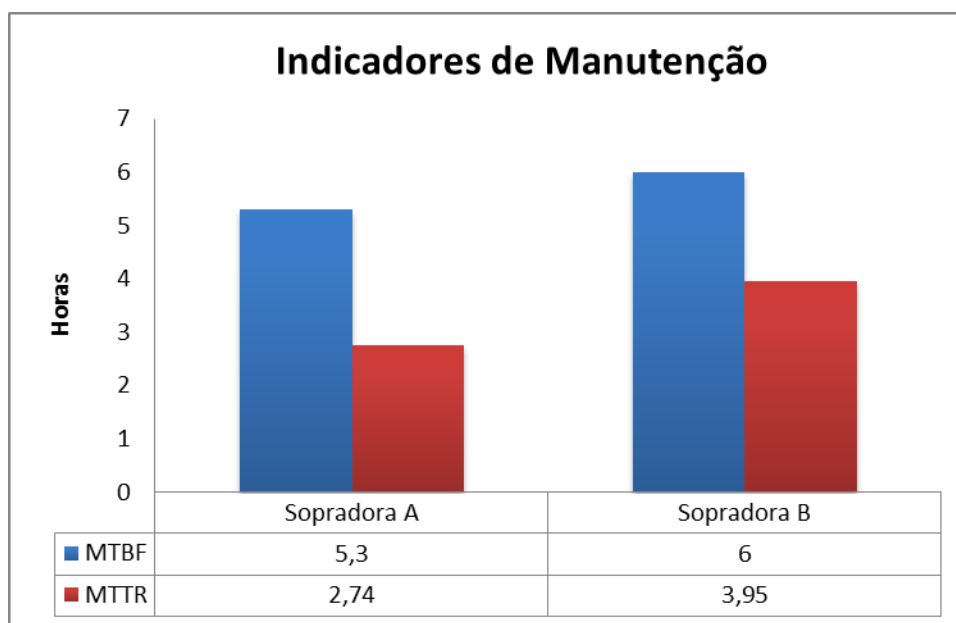
Para esta análise, teremos a superprodução dos itens da linha B e um faltante para os da linha A. Os estoques gerados no Centro de Distribuição da Empresa (CD), na própria fábrica ou até mesmo na linha de produção, já são contabilizados como despesas, desnecessárias para o processo e valor agregado final do produto. Além da falta de produto acabado para os consumidores, há também o consumo elevado da matéria prima em comum, MP A2 (PEAD), que não afetará a produção da sopradora A, visto que o consumo desta é maior que a sopradora B, atuando assim como uma sobra de insumo. Para a MP A1, haverá um estoque sobressalente, que irá gerar também custos para o valor final do produto.

Para o caso inverso, em que na sopradora B ocorra a quebra de processo, o quadro de estoque e programação também irá sofrer modificações, porém em proporções maiores. A



sopradora A consome uma quantidade de PEAD muito maior que a B, por se tratar de uma máquina que produz mais frascos em pouco tempo. Consequente, irá haver um consumo elevado de PEAD caso a máquina continue em operação constante para suprir a quebra da sopradora B e evitar maiores perdas como mão de obra ociosa desta sopradora. Assim, além da MP A3 não entrar no processo, gerando estoque sobressalente, haverá estoque também de produtos da linha A. Apesar de se gerar custos previstos de estoque destes produtos acabados, o fator mais relevante será o estoque de PEAD. Quando a sopradora B voltar a operar, caso fique com elevado MTFF, irá faltar este insumo em sua linha de sopro, o que causará uma falta de produto. Segue abaixo os indicadores de manutenção para estes dois casos:

Gráfico 1 – Indicadores de Manutenção considerando duas quebras em dois períodos diferentes



Quando ocorre a análise estatística no histórico dos maquinários para os indicadores de Manutenção e Confiabilidade, a tomada de decisão de compra será mais assertiva e previsível. Decorrendo da análise do MTFF e MTBF, pode-se prever quando e quanto deve-se comprar de insumo para suprir a demanda de consumo a mais da sopradora A. A confiabilidade e a manutenibilidade das máquinas também poderão inferir na previsão futura da demanda destes materiais. Maquinários com confiabilidade baixa, mesmo tendo um *lead time* reduzido, necessitam de uma pequena quantidade de materiais quando comparado a outros maquinários com *lead time* razoável e confiabilidade alta. Esta avaliação, quando bem



estruturada, maximiza a produção e reduz os custos de estoque e perdas, mesmo com as restrições expostas.

5. CONCLUSÃO

Conforme todos os dados apresentados e o estudo de caso explanado, torna-se crucial a avaliação de indicadores de desempenho na previsão da cadeia de suprimentos para os processos de manufatura. Cada indicador transmite um valor ou restrição à previsão de compra dos lotes de insumos, assim como seus estoques e variabilidade de consumo nas linhas de produção.

Para os casos estudados, mesmo com confiabilidades próximas e relativamente altas, os demais indicadores transparecem a necessidade de alocar a manutenção em conjunto com a gestão de estoques de materiais como elementos reguladores de produção. As áreas suportes da produção que fazem o espelho do que se programa com o PCPM devem possuir uma sinergia, tanto na comunicação, nos dados e nas análises de indicadores para obter uma demanda lógica e previsível. O objetivo do artigo foi atingido, visto que a mensuração dos resultados de falhas, quando avaliados podem prever a quantidade de compra e quando se deve efetuar a compra, sendo pelo LEC ou modelo normal de aquisição, sempre com foco de redução dos custos e otimização dos processos industriais.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, Marcos Ribeiro de. Metodologia da Pesquisa. Jacundá: 2008.
- DE MARIA, Guilherme & NOVAES, Antônio. Determinação do estoque de segurança baseado em confiabilidade produtiva. Anais do XXXI ENEGEP
- FALCONI, Vicente. O Verdadeiro Poder. Noiva Lima - INDG Tecnologia e Serviços LTDA, 2009.
- FOGLIATTO, F & RIBEIRO, J. Confiabilidade e Manutenção Industrial, Elsevier Editora LTDA, 2011.
- MARTINS, Eliseu. Contabilidade de Custos. Editora Atlas, 2000.
- MOREIRA, Daniel. Administração da produção e operações. São Paulo, Pioneira: 1993.



SHERIF, Yosef. Reliability – Risks, Resources, Rewards. Industrial and Systems Engineering, The University of Alabama in Huntsville, Huntsville, Alabama 35899, USA

(Received : 20 December, 1980)

SIMCHI-LEVI, D.; KAMINSKY, P. Cadeia De Suprimentos - Projeto e Gestão. ARTMED. 3ª. edição. Porto Alegre: Artmed Editora. 2010.

TORREL, W. e AVELAR, V. (2004). Tempo Médio Entre Avarias (MTBF - Mean Time Between Failures): Explicações e Normalizações. APC.