

UMA ANÁLISE SOBRE A APLICAÇÃO DE PRINCÍPIOS DE CONFIABILIDADE NA GESTÃO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO

Rodolfo Molinari

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos

Av. Prof. Mello Moraes 2231, Cidade Universitária, São Paulo, SP, BR

rodolfo.molinari@poli.usp.br

***Resumo.** De há muito que se sabe das vantagens de uma abordagem de confiabilidade para o trabalho de manutenção das máquinas que compõem a infra-estrutura de um processo de fabricação que apresente características não artesanais. Esta constatação é tanto mais certa quanto mais seriada for a característica da linha de produção e quanto maior for a sua escala. Entretanto, a cadeia de atividades que compõem qualquer processo de produção é muito mais ampla que o simplesmente o conjunto de suas máquinas e processos produtivos. O objetivo deste trabalho é propor um meio de se poder avaliar o quanto a idéia principal que permeia todo um estudo de confiabilidade, qual seja a de aumentar o tempo total disponível para a produção, pode ser associada e aplicada aos demais recursos da cadeia que compõe um processo de fabricação.*

***Palavras-chave :** processo de fabricação; confiabilidade aplicada.*

1. INTRODUÇÃO

Induzidos pela premência dos prazos ou pelas programações apertadas de volume de produção, as pessoas envolvidas em geral, e particularmente os engenheiros, tendem a associar a confiabilidade dos processos de fabricação restritamente ao atendimento dos quesitos de qualidade dos produtos e à manutenção da operacionalidade dos equipamentos. Indubitavelmente estes são dois aspectos de suma importância para o processo, mas certamente não são os únicos nem muito menos podem ser considerados de maior importância relativa. Não há etapas com “um aspecto mais importante” em uma linha de fabricação. Já se disse que produção é um processo⁽¹⁾ que se inicia na conversação com os fornecedores e se encerra no atendimento das necessidades do cliente. Sob esta ótica, a aplicação dos conceitos de confiabilidade devem permear todas as etapas do processo e não tão somente a manutenção dos equipamentos, como é mais comum de se ver, quando se quiser realmente otimizar índices de sucesso e a probabilidade de sua garantia.

2. QUALIDADE E CONFIABILIDADE

Não é demais que se discuta um pouco os conceitos que permeiam as idéias apresentadas neste trabalho, quais sejam os de confiabilidade e qualidade. Esta última vem sendo exaustivamente estudada e definida nos termos das interpretações dos principais atores do processo de fabricação, os produtores e os consumidores de bens, como também em função das diversas abordagens possíveis, desde o princípio absoluto da qualidade como “o melhor” que se possa fazer, até o da visão do usuário que encontraria a qualidade no bem que lhe atendesse a necessidade pura e simples. No entremeio encontram-se a abordagem do produto que atende adequadamente um conjunto de especificações técnicas, a da manufatura correta como sinônimo de qualidade, e o

princípio do valor puro e simples, onde aquilo que atende uma necessidade com custo mínimo é a excelência da qualidade ⁽²⁾.

De uma forma ou de outra, entretanto, a idéia de qualidade está sempre associada ao atendimento de uma especificação, a um desejo ou a uma necessidade. Os números envolvidos na quantificação da qualidade estão sempre ligados à comparação do trabalho realizado com o trabalho esperado, em diversos pontos do processo de fabricação, escolhidos em um consenso específico de cada bem ou produto.

Entretanto, seja qual for a filosofia escolhida, a medida da qualidade é uma medida do tempo passado, em termos absolutos ou estatísticos, mas sempre a medida do passado. Qualidade é uma coisa que se atesta. Tanto é assim que a medida da qualidade pode inclusive ser normalizada, em caráter geral ou específico, do modo como se queira.

Confiabilidade, por outro lado, é coisa que se espera. É uma coisa relativa ao futuro do processo, não ao passado. No entanto, suas necessidades estocásticas são grandes. Não se mede a confiabilidade de um processo de fabricação sem dados passados que permitam o cálculo da probabilidade do acerto futuro. Não há dúvidas sobre o fato de que não se mede ou se projeta índices de confiabilidade sem dados históricos confiáveis. E mais, dados sempre atualizados.

Uma definição interessante para confiabilidade foi estabelecida ⁽³⁾ como sendo o conjunto de atividades necessárias para garantir a qualidade do produto, estabelecida como o atendimento dos prazos de entrega nas quantidades contratadas, obedecendo a especificação estabelecida e com a segurança da continuidade de fabricação. Assim, por esta perspectiva, não basta que se pense apenas na comum e consagrada abordagem da manutenção centrada na confiabilidade ⁽⁴⁾ dos equipamentos da linha de produção.

O processo de fabricação é muito mais complexo que apenas os seus meios físicos, quais sejam as ferramentas e os equipamentos. Não basta que estes funcionem bem durante todo o tempo para que se possa definir a confiabilidade do processo de fabricação como um todo.

3. O PROCESSO DE FABRICAÇÃO

3.1 Conceituação Geral

A fabricação de bens é o resultado do trabalho orquestrado de vários setores do ambiente empresarial, dentre eles, é claro, a linha de máquinas e ferramentas de fabricação propriamente dita.

Os recursos de fabricação, entretanto, compreendem também o abastecimento de matérias primas, a distribuição dos insumos de produção e suprimentos em geral, a mão de obra, os recursos financeiros e, de um modo particularmente importante, a logística do processo, compreendendo desde a facilitação do abastecimento até a distribuição e a entrega do produto.

Em nossa visão particular, a confiabilidade de um processo de fabricação não pode ser efetivamente estimada sem que se leve em conta a interação, que existe sempre, entre estes diversos segmentos da produção industrial.

A idéia é a de que é preciso delinear todas as atividades que de alguma forma podem interferir ou compor com o processo de fabricação, num detalhamento suficiente para trazer resultados, mas não exagerado ao ponto de inviabilizar sua aplicação. A partir deste plano, é também preciso que se definam parâmetros de desempenho para cada uma das atividades estabelecidas, introduzindo-se o conceito de falha de forma correlata ao que faz costumeiramente com os equipamentos do processo quando se desenha o trabalho de manutenção centrada na confiabilidade (RCM).

Uma primeira aproximação para o desenvolvimento de um trabalho assim delineado, aplicável de forma geral aos diversos processos de fabricação, está esquematizada na figura 1. É certo que em um caso específico de processo poder-se-ia ser bem mais detalhista em função das particularidades, mas é certo também que qualquer processo poderia ser encaixado no esquema proposto, por mais complexo que fosse.

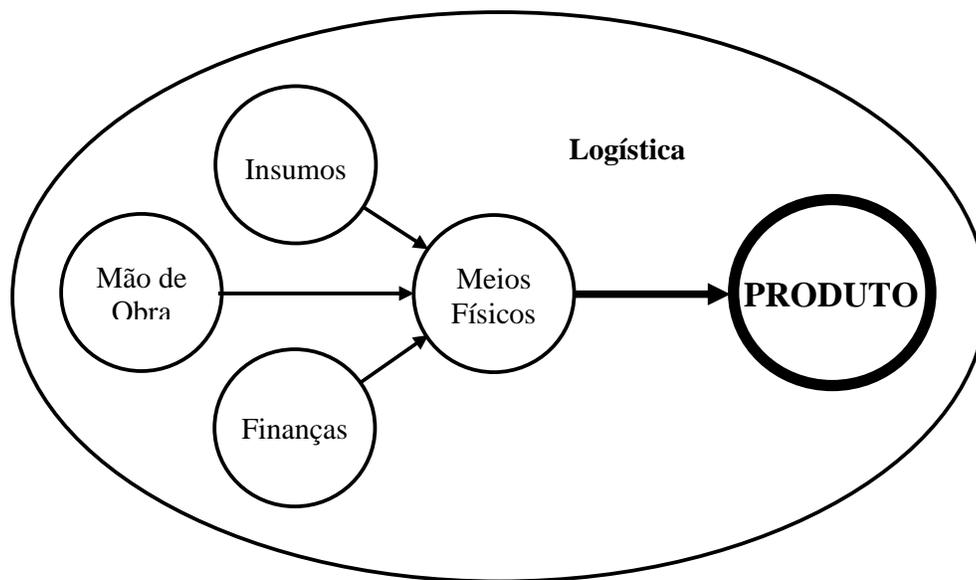


Figura 1. Arranjo relacional de atividades do processo de fabricação

Considerando-se esse esquema, da forma como está proposto, é possível agora que se efetue a análise da idéia geral aplicada às diversas atividades definidas, de forma individualizada.

3.2 Meios Físicos de Fabricação

A espinha dorsal de qualquer processo de fabricação é sem dúvida alguma constituída pelos seus equipamentos específicos. Para estes, a abordagem de confiabilidade está já consagrada nas práticas de manutenção voltadas para a eliminação de falhas, com o conseqüente aumento na disponibilidade de tempo para a execução do trabalho de fabricação propriamente dito [Cardoso].

Nos dias que correm, um processo de fabricação que não contemple suas linhas de equipamentos específicos com programas adequados de qualidade e confiabilidade na manutenção ou é um processo de muito pequeno porte, beirando o artesanal, com produção restrita, ou é um processo de pouca expectativa de vida empresarial.

Numa economia globalizada onde a sobrevivência de uma empresa está muito dependente da sua capacidade de colocar um produto em todos os mercados disponíveis, a entrega no prazo e nas quantidades contratadas do um produto com especificação garantida entregues nos prazos e quantidades acordados não podem depender de “sorte”. Hoje em dia é preciso fazer as coisas do modo certo (qualidade) e no tempo certo (confiabilidade), de preferência com flexibilidade para atender as necessidades do cliente. O futuro de um processo produtivo depende da capacidade que se tenha para controlar a “sorte”.

3.3 Insumos do Processo de Fabricação

Como insumos de processo podemos considerar itens como energia elétrica e água de refrigeração, ou seja, utilidades em geral, mas também e, principalmente, as matérias-primas para a fabricação dos produtos.

No caso mais comum, excluindo-se quase que apenas as indústrias de extração e beneficiamento, as matérias-primas são recebidas na especificação de entrada do processo de fabricação, tendência essa também muito comum com os itens de utilidades, dada a expansão do processo de terceirização industrial. Quando isto acontece, a preocupação ligada à confiabilidade deve ficar restrita à garantia de estoque e de abastecimento da linha de produção. Uma “falha”, neste caso, seria apenas a ultrapassagem dos limites especificados para tais itens e o “modo de falha” poderia ser a falta de entrega em tempo adequado ou poderia ser a falta de planejamento

adequado do volume de produção e do estoque. Todo o resto das preocupações diz respeito apenas às especificações dos materiais e, portanto, se resume a um problema de qualidade de fornecimento.

No caso particular dos insumos energéticos, o maior problema está na distribuição pois, no caso mais geral, a compra da energia se dá já na sua forma final, aplicável para uso. Tanto combustíveis como eletricidade costumam alimentar diretamente as máquinas da linha de produção na forma como são comprados, mas a sua distribuição no processo exige equipamentos que demandam manuseio e manutenção, com uma abordagem de confiabilidade que tem suas próprias características com diferenças em relação ao que se discute neste tópico do trabalho.

A maior complexidade do problema surge quando os insumos são produzidos localmente, situação muito mais comum quando se trata da geração e distribuição de utilidades, como óleo e gases sob pressão ou água de refrigeração tratada e recirculada. Nestes casos, têm-se sistemas completos basicamente independentes da linha principal de produção (e que por isto mesmo são facilmente terceirizáveis). No entanto, seu potencial de falhas nas funções que são intrínseca e basicamente ligadas ao suporte à linha principal podem igualmente prejudicar a produção, mesmo quando possuem conotação independente, como seria por exemplo o caso da poluição provocada pelo esgotamento de água de refrigeração inadequadamente tratada, ou pela queima incompleta de combustíveis em caldeiras que, por imposições legais, levaria à parada da produção.

É claro que a abordagem de RCM aplicada também aos equipamentos de geração e distribuição de utilidades contribuiria bastante para com o resultado total e representa apenas um caso mais abrangente do trabalho de manutenção, mas é preciso que o enfoque de suas conseqüências para a produção vá além do problema da parada de linhas. É preciso que o estudo de confiabilidade para os setores de apoio e suprimento de insumos sejam tomados como unidades independentes, afetando diretamente a confiabilidade total do processo de fabricação.

3.4 Mão de Obra

Ninguém duvida da importância do fator humano para os resultados de um processo de fabricação, ainda que se eleve a automatização a níveis significativos. Aliás, quanto mais alto o nível de especialização necessário para o trabalho, mais complexa a cadeia de conseqüências de uma falha humana.

Fatores emocionais, fatores culturais e fatores comportamentais presentes nas pessoas que trabalham no processo são equi-potencialmente significativos para o domínio da probabilidade de ocorrência de falhas na fabricação. Uma abordagem completa para confiabilidade há que levar esses fatores em consideração.

Como exemplo de fator emocional pode ser lembrado o clássico e conhecido caso em que o resultado de um jogo de futebol no domingo à tarde influencia a produção da segunda-feira no maior parque industrial do país. Este é um fator sazonal e previsível, que um bom planejamento de produção poderia suplantar, mas uma grande variedade de problemas pessoais podem se tornar fatores de falha. A ciência médica dispõe de mecanismos eficazes de controle para este tipo de problema, para o qual não se pode fechar os olhos.

Fatores comportamentais podem ser responsáveis, por exemplo, por falhas provocadas pela recusa muitas vezes velada em aceitar padrões de procedimento para o trabalho, fato este bastante comum e que tem seu viés cultural mais significativo na medida em que falhe a qualidade da educação profissional. O acompanhamento próximo e estreito do modo operacional das pessoas envolvidas no processo de fabricação pode ser determinante para a redução de falhas no processo.

Com relação aos fatores culturais, o mais significativo para a confiabilidade do processo de fabricação é sem dúvida o da qualificação profissional, cuja influência na ocorrência de falhas pode ser diretamente ligada ao próprio trabalho da fabricação como também pode ser indiretamente ligada ao processo, como é o caso da baixa qualidade da execução de procedimentos de manutenção. Há que se considerar também o efeito do envelhecimento tecnológico do conhecimento das pessoas sobre o processo. Com o passar do tempo, é normal que a tecnologia aplicada a um processo de fabricação venha a se tornar obsoleta e seja naturalmente substituída, num processo vital para a sobrevivência das empresas. Nem sempre a qualificação profissional

acompanha o ritmo das mudanças e, neste contexto, é fundamental que parâmetros de acompanhamento sejam desenvolvidos para que se possa controlar seus efeitos e garantir os níveis de confiabilidade que se desejem.

É comum que os modos de falha relacionados com fatores humanos venham a ser mascarados pela própria natureza sintomática da ocorrência que, em geral, é muito mais imediatamente identificável. Como exemplos desse freqüente mal entendido é possível que citar as quebras de ferramentas e de componentes mecânicos em máquinas operatrizes, as queimas em dispositivos elétricos, os erros de medida em instrumentos de controle e os desvios dimensionais no processo de fabricação, entre outros, que possam mascarar o erro humano.

É preciso muito cuidado para que se tenha a real definição do modo de falha dos componentes com o objetivo de identificar aqueles relacionados com o fator humano pois, se isto não vier a ocorrer, a simples manutenção no elemento falhado será mais um fator de agravamento na queda dos índices de confiabilidade esperada, dado o aumento certo na freqüência da ocorrência.

3.5 Administração Financeira

A razão de existência do processo de fabricação é a lucratividade. Sob esta ótica pode-se dizer que os problemas de planejamento e de fluxo financeiro que possam afetar direta ou indiretamente o abastecimento de materiais, componentes e mão de obra têm conseqüência direta na produtividade e, com isto, na confiabilidade final da empresa .

Assim, é importante que se estabeleçam parâmetros de falha para o setor de administração financeira da empresa de forma a se poder quantificar ou, pelo menos, qualificar sua confiabilidade. Como exemplo, podemos citar o caso do pagamento correto, em valores e prazos, de faturas relativas a insumos. Uma falha recorrente nesse setor, e aqui não se está cogitando sobre inadimplência, pode provocar a desconfiança dos fornecedores e vir a provocar o desabastecimento que posteriormente irá parar a linha de fabricação.

É muito adequado, portanto, que as atividades relativas à administração financeira do processo de fabricação também sejam parametrizadas e acompanhadas, com seus índices de confiabilidade vindo a compor o índice total final do processo.

3.6 Logística

Propositadamente, os problemas de logística relativos a todos os sub-itens discutidos anteriormente foram deixados de lado nos seus respectivos parágrafos para serem tratados aqui de forma independente, dada a sua importância para o processo de fabricação.

A logística do processo de fabricação está na capacidade de abastecimento, distribuição e transporte de insumos por toda a cadeia de produção nas quantidades certas e no momento certo, objetivando minimizar [Cardoso] e até mesmo eliminar estoques intermediários sem interrupção do processo produtivo, desde o recebimento do fornecedor até a entrega ao cliente. Slack⁽²⁾ coloca com propriedade que a logística do processo confunde-se com os procedimentos de gestão da distribuição física dos materiais por toda a cadeia de insumos do processo de fabricação.

Pelo mesmo raciocínio utilizado no tópico anterior, até o mesmo exemplo de parâmetro de falha poderia ser utilizado para justificar a importância de um estudo cuidadoso que viesse a incorporar a probabilidade de falhas nas atividades ligadas à logística de forma independente, mas associada de forma equipotente ao cálculo determinativo da confiabilidade do processo de fabricação.

4. O MODELO DE RELACIONAMENTO

No modelo de relacionamento entre os diversos setores envolvidos no processo de fabricação que foi descrito até agora, a linha mestra começa no suprimento de matérias primas, passa pelos meios físicos de fabricação e termina na entrega do produto ao cliente, com todos os demais setores agregados ao longo dessa linha mas não em série com ela. A figura 2 ilustra esquematicamente este conceito. Para o seu bom entendimento com o sentido aqui proposto, entretanto, é preciso que se atente para não imaginar que exista qualquer conotação de hierarquia entre os blocos.

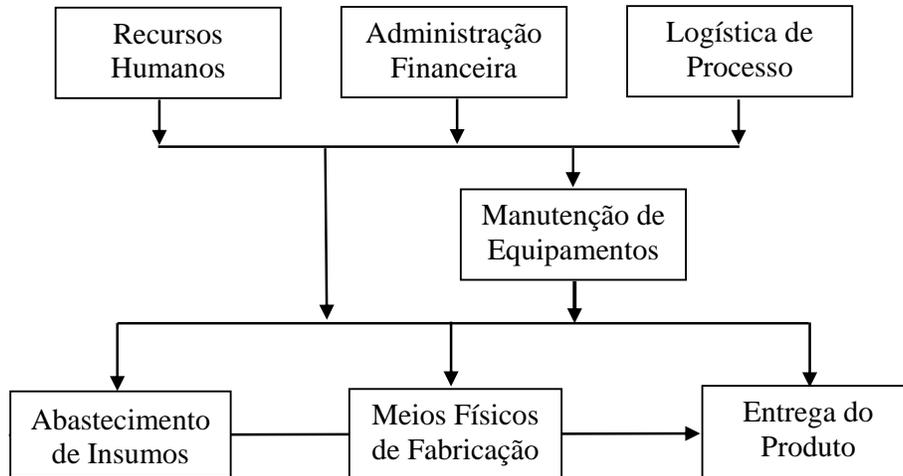


Figura 2. Modelo de relacionamento entre setores do processo de fabricação.

Se para cada um destes setores forem estabelecidos parâmetros adequados de controle e a partir deles forem calculadas as probabilidades de falha e os conseqüentes índices de confiabilidade individuais, poderemos então estabelecer um índice total para a confiabilidade do processo de fabricação. Considere-se a notação :

- R_H : índice de confiabilidade do setor de recursos humanos;
- R_F : índice de confiabilidade do setor de administração financeira;
- R_L : índice de confiabilidade do setor de logística;
- R_M : índice de confiabilidade do setor de manutenção;
- R_A : índice de confiabilidade do setor de abastecimento;
- R_E : índice de confiabilidade do setor de meios físicos de fabricação;
- R_D : índice de confiabilidade do setor de entrega do produto;

Existem duas conexões particularmente importantes no diagrama da figura 2. Uma delas relaciona o conjunto de blocos [R_H , R_F , R_L] diretamente com o conjunto [R_A , R_E , R_D] e corresponde a uma situação menos crítica, posto que o índice de confiabilidade do setor de manutenção, em geral menor que a unidade, será sempre um fator agravante para a determinação de um índice total de confiabilidade. Assim, não é leviano assumir que a conexão mais crítica seja aquela que mostra o relacionamento do primeiro bloco, relativo aos setores de recursos humanos, administração e logística com o setor de manutenção de equipamentos e o relacionamento deste com o segundo bloco, o dos setores diretamente correlacionados com a linha de produção. Isto posto, então podemos definir um diagrama de blocos simplificado para a determinação de um índice total de confiabilidade, conforme mostrado na figura 3.



Figura 3. Diagrama de blocos simplificado para a determinação da confiabilidade total.

O agrupamento dos setores de recursos humanos, administração financeira e logística é claramente um agrupamento em paralelo. Podemos então calcular:

$$R_{FHL} = 1 - [(1 - R_F) \times (1 - R_H) \times (1 - R_L)]$$

Que resulta :

$$R_{FHL} = R_F + R_H + R_L - R_F \cdot R_H - R_F \cdot R_L - R_H \cdot R_L - R_F \cdot R_H \cdot R_L$$

O agrupamento dos setores de abastecimento, meios físicos de fabricação e entrega de produto é claramente um agrupamento em série, sendo a equação característica dada por :

$$R_{AED} = R_A \cdot R_E \cdot R_D$$

O diagrama da figura 3 mostra claramente um agrupamento série entre os três blocos principais considerados. Desta forma, a confiabilidade total do modelo aqui proposto para o processo de fabricação como um todo será dada por :

$$R_T = R_{FHL} \cdot R_M \cdot R_{AED}$$

Desenvolvendo, a confiabilidade total para modelo proposto terá por expressão:

$$R_T = [R_F + R_H + R_L - R_F \cdot R_H - R_F \cdot R_L - R_H \cdot R_L - R_F \cdot R_H \cdot R_L] \cdot R_A \cdot R_E \cdot R_D \cdot R_M$$

5. CONCLUSÃO

A proposição contida neste trabalho não tem a pretensão de ser absoluta. Certamente que outros arranjos entre os diversos setores envolvidos no processo de fabricação serão também possíveis, em função de suas particularidades específicas. Entretanto, sob o olhar dos princípios de confiabilidade e da metodologia usual para sua implantação e considerando-se a definição de parâmetros de controle conforme aqui apresentado, as condicionantes conseqüentes restringem bastante a variabilidade do modelo de relacionamento. Por outro lado, a complexidade particular de cada processo pode vir a definir um conjunto bem maior de setores distintos mas que, certamente, poderão ser acomodados dentro de grandes blocos concordantes com o modelo aqui oferecido. Desta forma, o modelo apresentado torna-se bastante versátil e flexível para aplicação nos mais diversos processos de fabricação.

6. REFERÊNCIAS

Livros

1. PLOSSL, George W.. **Administração da produção**. 1.ed. São Paulo: Makron Books do Brasil Editora Ltda., 1993.
2. SLACK, N., CHAMBERS, S., JOHNSTON, R.. **Administração da produção**. 2.ed. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2002.
3. LEWIS, E. E.. **Introduction to reliability engineering**. 2.ed. USA: John Wiley & Sons, Inc., 1996.
4. MOUBRAY, J.. **Reliability-centered maintenance**. 2.ed. USA: Industrial Press Inc., 1997.
5. ONO, T., **Toyota production system: beyond large-scale production**, 1.ed. USA : Productivity Press Inc., 1988.

Dissertações e Teses

CARDOSO, Idécio A. P.. **Elaboração de políticas de manutenção : uma abordagem voltada à análise de confiabilidade**. 2000. 189 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

AN ANALISYS ABOUT THE APPLICABILITY OF RELIABILITY PRINCIPLES TO THE MANUFACTURING PROCESS MANAGEMENT

Rodolfo Molinari

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos
Av. Prof. Mello Moraes 2231, Cidade Universitária, São Paulo, SP, BR

rodolfo.molinari@poli.usp.br

Abstract . *It has been a long time now that the advantages of the reliability approach for the work of maintenance of the machines that composes an industrial manufacturing process is well known, as it is also known that as high is the production amount scale, more advantages it gives. However, the chain of activities that compose any manufacturing process is much ampler than simply the productive set of its machines and processes. The goal in this work is to achieve a way which could permit that the reliability of the hole manufacturing process could be evaluated, including all those existing activities not directly connected with the fabrication line.*

Key words : *“manufacturing process”, “ applied reliability”.*