

## **Acidentes Envolvendo Máquinas com Dispositivos de Proteção: Erro do Usuário ou Erro de Concepção? <sup>1</sup>**

*Jürgen Meisenbach*

**Os planos originam-se do “designer” (responsável pela concepção) - os erros só são descobertos mais tarde!**

Em sentido amplo, esta relação ainda parece se manifestar em muitos acidentes envolvendo máquinas.

O cenário do acidente abaixo sustenta essa idéia.

O alimentador de material de uma máquina automática de solda sofre um bloqueio. O painel a ser soldado não é transportado como deveria pelo cilindro elevador e fica “fora” de posição. O operador do equipamento suspeita de uma falha de contato no interruptor de fim de curso (“non-contacting limit switch”). Ele deixa seu console de controle e, sem desligar o equipamento, entra na área fechada da zona de perigo ignorando o dispositivo de segurança, isto é, contrariando as instruções. Na zona de perigo ele move o painel para a posição correta. Esse movimento dispara a operação automática do equipamento. A aproximação do cilindro de elevação em relação ao painel próximo “prende” o operador, que é pressionado contra *containers* de armazenamento, sendo gravemente ferido.

Há instruções de operações disponíveis para o equipamento. Essas instruções abordam a correção de falhas, proíbem o acesso ao equipamento durante operação e recomendam seu desligamento e reinicialização em caso de problemas. A zona de perigo é fechada e claramente sinalizada como área de perigo por meio de cartazes. As pré-condições objetivas estão em conformidade com os regulamentos. Considerando esses antecedentes, para a prevenção, não há necessidade de ação adicional. Acresce ainda o fato de o trabalhador acidentado estar sob influência de álcool. A conclusão óbvia foi, portanto, considerar o acidente apenas como um caso trágico, porque ele foi causado pelo comportamento indubitavelmente incorreto da pessoa afetada.

---

<sup>1</sup> Meisenbach, J. Accidents despite protective devices – mistakes by the user or by the designer? In Defren, W.; Kreutzkamp, F. (Org) Machine Safety in the European Community. Duisburg: Schmersal; 2003. (p. 193 a 199). Tradução livre de Ildeberto Muniz de Almeida. O tradutor agradece, em especial, as colaborações do Eng<sup>o</sup> Iderval Muniz de Almeida e da Eng<sup>a</sup> e auditora fiscal do trabalho (DRT-MG) Ivone Corgosinho Baumecker na tradução de termos técnicos.

### **Acidentes não têm apenas causas superficiais.**

Embora o acidente citado possa ser atribuído a comportamento flagrantemente incorreto, a sua análise não foi concluída pela determinação dessa causa, mas abriu possibilidades de explorar questões adicionais. Agora, o fato a ser estabelecido foi se, naquelas circunstâncias, condições operacionais poderiam ter promovido os erros que foram cometidos: a falta observada já era conhecida. A causa no início da falha era a presença de rebarbas (“burrs”) no painel a ser soldado. O seu acúmulo levou ao posicionamento incorreto do painel, ensejando a parada recorrente do equipamento. O sistema é equipado com dispositivo de controle seqüencial (“sequence control system”) que, **depois do desligamento, só pode ser reiniciado no início do ciclo** (grifo da tradução). Cada nova reinicialização é sempre associada com reajustes e, por isso mesmo, consomem tempo. A máquina de solda automática representa um gargalo na produção. Além disso, foi descoberto que a correção de falhas em condições similares já tinha sido realizada anteriormente com sucesso e com freqüência.

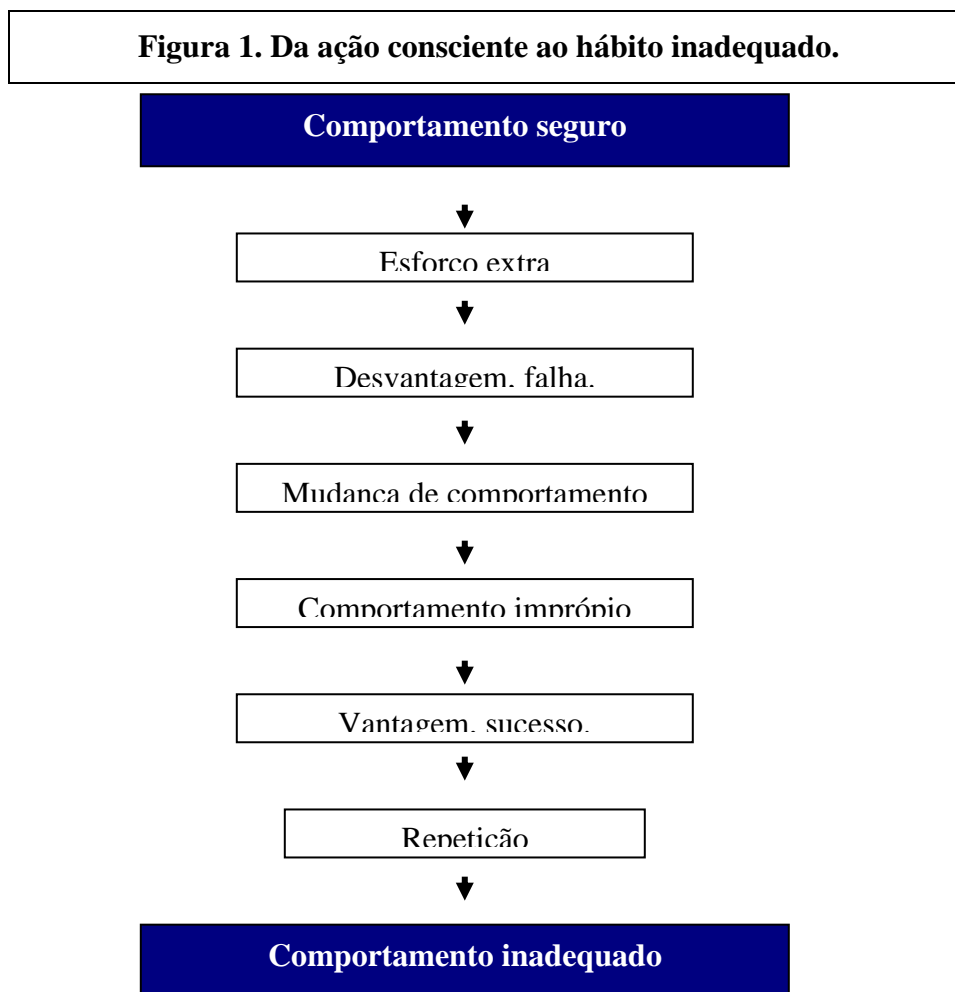
Essa investigação suplementar resulta na apresentação do acidente de um modo ligeiramente diferente, até mesmo do ponto de vista daqueles que anteriormente declararam-se, eles mesmos, contras investigações adicionais. Os erros previamente estabelecidos, isto é, ignorar a proibição de acesso ao equipamento e a influência do álcool, mantêm, como antes, seu significado como causas. Logicamente, eles também resultam na adoção de ações apropriadas. Mas novas condições vieram à luz, as quais incentivaram e contribuíram para a situação desencadeada: isto é, a presença de rebarba no painel e o equipamento de controle não amigável e inconveniente. O aspecto particular dessas condições fronteiriças é que elas explicam parcialmente o comportamento incorreto e ainda podem ser efetivamente influenciadas pelos meios técnicos. Nesse caso, ambas, as *condições fronteiriças* e as *razões* para os comportamentos inadequados<sup>2</sup> poderiam ser tecnicamente melhoradas e removidas.

---

<sup>2</sup> No original, Meisenbach usou a expressão comportamento inseguro. Entre nós, me parece oportuno interromper sua utilização em função do histórico de uso em estreita associação com práticas de atribuição de culpa, desprezo pelas boas técnicas de condução de análises e de defesa de interesses políticos de amesquinamento das práticas de Segurança no Trabalho tendendo a colocar serviços e profissionais da área em posições subalternas e de submissão a interesses estranhos à prevenção de acidentes.

## Hábitos inadequados podem estar sendo encobertos sem serem notados

A abordagem escolhida para investigação - isto é, não apenas a busca de causas óbvias, mas também das condições que facilitam ou incentivam tais comportamentos - é baseada em observações psicológicas e experiências. Isso porque na psicologia da aprendizagem, a formação de hábitos, - inclusive padrões comportamentais inadequados - usualmente segue a relação mostrada na fig 01.



Nesse caso o ponto de partida costuma ser o comportamento seguro. A ocorrência de uma falha e os passos requeridos para sua correção implicam em aumento de esforços<sup>3</sup>,

<sup>3</sup> Nota da tradução: A mesma situação é apontada por outros autores. Em “O que houve de Errado?” (São Paulo. Makron Books) Trevor Kletz a denomina de situação que cria *custo adicional* para o operador e descreve acidente em situação que torna previsível a utilização de estratégia de “cortar caminho”, deixando de cumprir determinação de norma de segurança. Uma recomendação útil para a gestão de segurança é a de nunca aceitar que a segurança do sistema dependa apenas da adesão a esse tipo de norma em situação cujo desfecho possa ser considerado como potencialmente grave para a saúde de trabalhadores ou que ameace a

isto é: parar a máquina e reiniciá-la numa série de passos complicados e que consomem tempo. O esforço extra é vivenciado pela pessoa envolvida na falha. Falhas têm a tendência de mudar comportamentos – no caso, a máquina não foi parada e a falha foi corrigida mais rapidamente desconsiderando o dispositivo de segurança. O comportamento seguro anterior é agora mudado para comportamento impróprio. A correção da falha, que agora toma menos esforço, incluindo o comportamento impróprio, é tragicamente vivenciada como um sucesso. O comportamento bem sucedido tem a tendência a ser repetido. Através da múltipla repetição, pouco a pouco, podem originar-se hábitos inadequados. Eles preparam o terreno para todos tipos de acidentes, incluindo acidentes com máquinas: inicialmente devido à desobediência (ato de ignorar) intencional ou à desativação de dispositivos de segurança, os empregados tornam-se expostos a perigos que eles acreditam poder controlar tomando cuidados especiais. Com o passar do tempo, a consciência do perigo torna-se embotada (“blunt”). Então, até mesmo mudanças muito leves das condições fronteiriças podem levar a acidentes graves. Suspeita-se que essa cadeia de causas e efeitos tem maior influência nos acidentes com máquinas que o pensado anteriormente. Para confirmar essa suspeita, deveriam ser verificadas relações de causas e efeito, também em outros acidentes e com outros perigos assim como deveriam ser desenvolvidas abordagens para a adoção de medidas efetivas.

Da experiência com acidente acima citado, os seguintes aspectos foram decisivos na investigação:

- Desligar, contornar, inibir ou “bypassar” dispositivo de segurança representa ação intempestiva não permitida (“impermissible tampering”)<sup>4</sup>;
- Essa ação não permitida é, primariamente, devida a circunstâncias relacionadas à operação e não a fatores da pessoa do operador.

---

própria integridade do sistema. A noção de criação de custo adicional para os operadores também é apontada como critério de avaliação de escolha de medidas de prevenção (Almeida 2006). De acordo com Amalberti, na situação de trabalho o ser humano estabelece compromisso baseado na necessidade objetiva de negociar três objetivos: a) alcançar os objetivos do sistema; b) manter sua segurança e a do sistema e; c) manter o desempenho com o menor custo físico, cognitivo e afetivo para si próprio. Por isso mesmo, passos percebidos como desnecessários tendem a ser substituídos por outros que se mostrem adequados e de menor custo.

<sup>4</sup> Nota da Tradução: De acordo com Apfeld (2007) em norma recentemente lançada (DIN EN ISO 1088 A1: 2007) sobre o “bypass” ou manobra de contorno para não uso de medida de proteção existente em máquina, o termo “tampering” é definido como “desativar ou tornar inoperante dispositivo de proteção tendo como resultado o fato de que a máquina passa a ser usada de modo não pretendido pelo seu designer ou sem as necessárias medidas de segurança”.

Esses dois pressupostos também destacam de um modo fundamental o objetivo da investigação: é preciso identificar ações não permitidas em equipamentos e as razões operacionais associadas às suas origens.

As investigações que exploram esse tipo de questão não são, em princípio, isentas de críticas. Elas devem ser conduzidas com o tato necessário. Caso contrário, ações não permitidas serão, não apenas negadas, mas intencionalmente escondidas de modo a evitar retaliações. Em outras palavras, a cumplicidade (“arrangement”) com a falha e a ansiedade relativa às conseqüências são mais fortes do que o desejo de melhorar a situação.

Por isso mesmo, os empregados daquelas áreas que foram investigadas receberam informações específicas sobre as razões e intenções da investigação planejada. E eles foram incluídos no desenvolvimento de um questionário a ser usado como um instrumento para investigação. Isso facilita que o problema anteriormente enfatizado seja evitado - como mostraram o progresso adicional no inquérito e, acima de tudo, os seus resultados.

Produção integrada e linhas de montagem foram investigadas em uma fábrica de peças terceirizada para indústria automobilística. Nessas linhas, situações perigosas tinham sido observadas certo número de vezes e acidentes tinham ocorrido. Das observações, dos resultados de investigações de acidentes e, acima de tudo, a partir de perguntas aos empregados, emergiram os seguintes motivos para acessos não permitidos a equipamentos, isto é, sem primeiro desligá-los. (veja fig 02).

Motivos:

- Monitoramento da produção, em particular para tomada de amostras aleatórias.
- Ajustes de processos, por exemplo, por mudanças de programas ou otimização de parâmetros do sistema.
- Alimentação de material, em particular, alimentadores contínuos (“feeding of single parts”)
- Limpeza / Conservação / manutenção (“servicing”) de máquinas e partes de sistemas.
- Correção de falhas, em particular com a remoção de partes desalinhadas, emperradas ou com defeito (“misshapen or jammed parts”).

Todos os acessos identificados a sistemas e máquinas poderiam ser atribuídos a esses motivos operacionais. Outros motivos, por exemplo, aqueles que poderiam ser

atribuídos apenas à própria motivação dos empregados não foram encontrados. Era claro para todos os empregados que ações não permitidas estavam ocorrendo. Em relação a isso, as pressuposições feitas no início poderiam, em parte, ser confirmadas.

Motivos <sup>5</sup> para acessos não permitidos para máquinas integradas	Razões para acessos não permitidos a máquinas em linhas de produção (“chained machines”)			
	Defeitos na acurácia da produção	Falta ou dificuldade de acesso e intervenção	Falta de parada de emergência local	Posição de elementos (componentes) não perigosos
Monitoramento de produção	X (ver fig 3)	X (ver fig 4)		
Ajustes de processo		X (ver fig 5)		
Alimentação de material				X (ver fig 7)
Conservação / manutenção / limpeza (“servicing”)				X (ver fig 8)
Correção de falhas			X (ver fig 6)	X (ver fig 9)
<b>Figura 2: Motivos e razões para acessos não permitidos em máquinas integradas</b>				

Para prosseguir, havia ainda as razões a serem pesquisadas: O que levava os empregados a não desligar os equipamentos como requerido, mas, ao invés, acessarem áreas não permitidas durante sua operação?

### **Comportamentos inadequados freqüentemente têm razões operacionais.**

De modo similar aos motivos, foram encontradas razões operacionais sem exceção e elas podem ser descritas como se segue (ver fig 02).

Razões:

---

<sup>5</sup> Nota da Tradução. Nesse quadro, o autor chama de *motivos* as tarefas, ou seja, o que o trabalhador fazia na ocasião em que “bypassou” o dispositivo de proteção, por exemplo, adentrando a área proibida e; de *razões*, o evento ou perturbação específico ocorrido no curso daquela tarefa; ou ainda a característica específica do sistema que, na hora do acidente, “atua” como razão para o comportamento adotado para fazer frente a aquele evento ou dificuldade.

1. Defeitos na calibragem (“accuracy”) da máquina ou partes levam a falhas e, conseqüentemente, ao acesso não permitido para impedir ou corrigir essas falhas;
2. A falta de métodos de intervenção e acesso torna impossível, por exemplo, a tomada de amostras aleatórias para o monitoramento da produção;
3. A falta de dispositivos locais de desligamento (paradas de emergência) significa que o equipamento não é desligado quando se pretende acessar somente partes dele;
4. A posição de elementos não perigosos, por exemplo, containeres de estocagem ou unidades de conservação/manutenção, dentro das zonas protegidas, leva a acessos não permitidos.

Os resultados dessa investigação, juntamente com os achados previamente descritos, fornecem confirmação suficiente de que o acesso não permitido é feito, principalmente, devido a razões operacionais. A partir de então, há necessidade de clareza, para estabelecer quais medidas podem ser tomadas com a esperança de sucesso.

#### **Design amigável evita comportamentos inadequados.**

A seguir, são enfatizadas as combinações de motivos e razões mais freqüentemente encontradas, assim como os objetivos de proteção a serem conseguidos com as medidas técnicas (veja a fig 02).

Nos dispositivos de transporte, em particular, nas estações de trabalho (áreas de produção das máquinas)<sup>6</sup> as interfaces devem viabilizar a passagem de peças de trabalho de modo seguro e preciso. Medidas de concepção aplicadas a equipamentos do tipo correias transportadoras (“conveying”) podem ser consideradas aqui como soluções, por exemplo, dispositivos de alimentação (“feed-in aids”), equipamentos de posicionamento ou de medições automáticas e pontos de inspeção (veja a figura 3). (“positioning equipment or automatic measurement and inspection points” ).

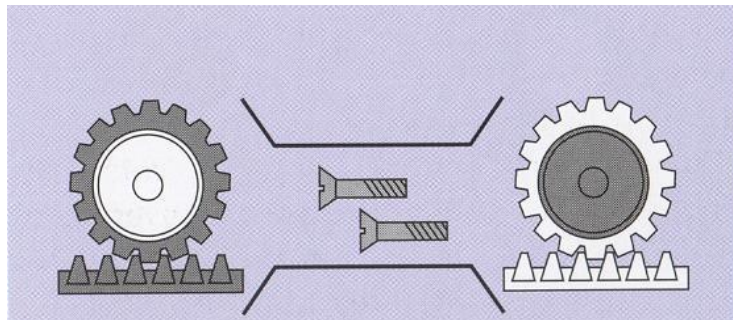
Para a tomada de amostragens aleatórias de modo a monitorar o processo de produção, ainda no estágio de concepção, devem ser providenciados meios de acessos protegidos, bloqueios de material ou de entrada (veja a fig. 04). (“protected means of access, material locks or entrances”)

---

<sup>6</sup> Nota da tradução: Esse cuidado também deve se aplicar, por exemplo, a pontos em que o sistema transportador muda a direção das peças transportadas e, por exemplo, pode dar origem a desalinhamentos ou outros problemas que, se não solucionados adequadamente, podem ensejar a necessidade de recuperação manual feita pelo operador ou algum de seus ajudantes.

A otimização de parâmetros do sistema, que só pode ser realizada durante a operação, requer meios de acesso protegidos (veja a fig 05).

Meios de desligar seções limitadas do sistema facilitam a continuidade do trabalho sem perigo dentro de áreas protegidas da seção desligada. Visando a continuidade das operações nas seções próximas, se as circunstâncias os exigirem, devem ser providenciados áreas de estoques intermediários (“workpiece buffers”) (veja fig 06).

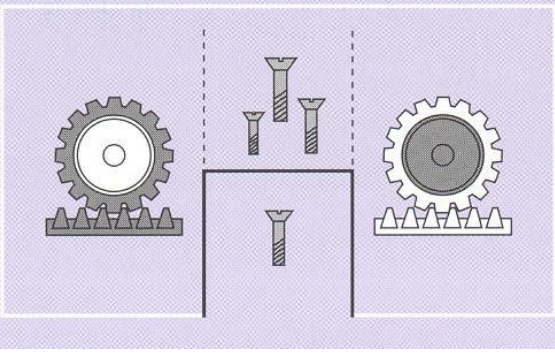
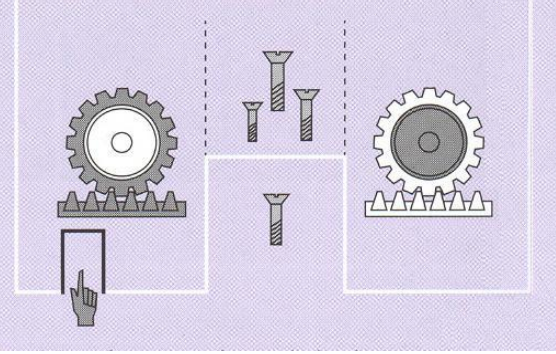


- Considere as tolerâncias das peças de trabalho
- Desenvolva dispositivos de ajuda na alimentação. (Design feeding aids)
  - Prover dispositivos de posicionamento
  - Prover pontos de medição e inspeção.

**Figura 3: Interfaces no transporte de peças de trabalho**

A localização dos containeres de armazenamento (“storage containers”) para as partes de alimentação e peças de trabalho deve ser providenciada fora das áreas protegidas se o sistema de alimentação em si não apresenta perigo (veja a fig 07).



	
<p>Prover métodos de acesso amigáveis ao usuário.</p>	<p>Fig 5. Otimizar parâmetros da máquina.</p>
<p>Figura 4. Pegando amostras aleatórias</p>	<p>Prover acessos seguros para otimização</p>

As unidades de limpeza/conservação/manutenção (“service units”) devem ser posicionadas de tal modo que, sempre que possível, as verificações realizadas regularmente e as tarefas de manutenção, por exemplo, o monitoramento do óleo lubrificante de refrigeração (“cooling lubricant”) e o nível de óleo, assim como o re-abastecimento (“refilling with”) de óleo, possam ser feitos de um ponto do lado de fora da guarda de proteção (veja a fig 08).

Os acessos a equipamentos elétricos – também com a preocupação da produção enxuta (“lean”)<sup>7</sup> – não devem ser domínio exclusivo de eletricitas treinados. Em uma estrutura operacional enxuta (“slimmed-down”) os eletricitas não podem estar em todos os locais. Por outro lado, apenas intervenções menores (“minor intervention”) podem ser resolvidas sem perigo por operador de máquina experiente / conhecedor. Na prática, várias soluções têm sido bem avaliadas no curso da realização de melhorias. Elas podem ser usadas como base para a concepção de futuros sistemas. Por exemplo, **dispositivos elétricos atuadores (ou ativos?)** (“electrical actuation devices”) podem ser colocados fora da área de perigo e acomodados em cabines de controle (“control cabinets”) com portas divididas,

<sup>7</sup> **A Produção enxuta** ou “**Lean Manufacturing**” surgiu no Japão, na fábrica de automóveis Toyota, logo após a segunda guerra mundial. Ela busca produzir mais usando menos de tudo. Em especial, menos recursos e menos mão de obra. Para alcançar seus objetivos combina máquinas e técnicas gerenciais. A tradicional hierarquia gerencial é substituída por equipes de trabalhadores com múltiplas habilidades atuando lado de máquinas automatizadas em regime que estimularia a cooperação e o aproveitamento dos saberes daqueles envolvidos na fabricação dos produtos. Os dois pilares do Sistema Toyota de Produção são o Just-in-time e a Autonomia. Sua implementação não se dá sem conseqüências sociais como relatam Helena Hirata e Benjamim Coriat, entre outros.

acessáveis separadamente para o operador da máquina e eletricista ou instaladas (“housed”) desde o início em cabines de controle separadas. Se esse tipo de solução de segurança não pode ser realizada, então os componentes perigosos devem, pelo menos, ser enclausurados (veja fig 09).

Uma checagem final de segurança complementa os requisitos de segurança previamente descritos. Ela deve ser conduzida com a co-operação dos encarregados da concepção, **operadores especializados** (“authority operating”) e especialistas em segurança antes que o equipamento seja posto em operação. É somente desse modo que alguém pode se assegurar que as medidas de proteção planejadas sejam instaladas e exibam o efeito protetor requerido. Esse teste de comissionamento<sup>8</sup> não é suficiente para detectar aqueles defeitos que só se tornam aparentes depois de um longo período de uso. Conseqüentemente, checagens adicionais devem ser conduzidas a intervalos de tempo razoáveis, incluindo, primariamente, perigos / fatores de risco e medidas de proteção para falhas e sua correção, a limpeza, conservação / manutenção (“servicing”) do equipamento, assim como a alimentação de materiais. Com a realização dessas atividades, sem as avaliações e atividades de prevenção, os motivos para acessos não permitidos se acumulam – como já discutido. Eles não devem ser ignorados, mas ao contrário, necessitam, em cada caso, de cuidadosa investigação e da remoção de suas causas (veja fig 10).

Os requisitos de segurança descritos podem ser integrados em uma estratégia efetiva para aumentar a segurança de máquinas e equipamentos. Entretanto, eles também permitem uma resposta a ser dada à questão colocada no título deste artigo, de se, a despeito das medidas de proteção, acidentes devem ser atribuídos a erros do operador ou a erros dos planejadores e responsáveis pela concepção. A resposta é: ambos. Não é apenas o erro ou má prática do operador, mas também falhas no lado da concepção, isto é, a soma de ambos que descreve a realidade completa. De modo similar, é claro, entretanto, que os fatores

---

<sup>8</sup> Nota da tradução: O teste de comissionamento de uma máquina é um teste de funcionamento realizado com a finalidade de formalizar sua entrega para uso ou início das garantias dadas pelo fabricante. Inclui verificação de todas as proteções e modos de funcionamento da máquina visando certificar, por exemplo, se dispositivos de parada de emergência; sistemas de proteção contra fogo, baixa ou alta pressão, ou alta temperatura de componentes, etc estão realmente funcionando. Regra geral, os fabricantes elaboram manuais de comissionamento dos equipamentos e sua garantia começa após a assinatura do cliente comprovando a realização desses testes.

iniciadores<sup>9</sup> estão, principalmente, no operador de equipamento cuja falha é ajudada, incentivada, ou ainda possivelmente, provocada por erros de concepção.

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Provide area switch-off</li> </ul>	
<p>Prover parada de emergência local. Criar estoques intermediários (“buffers”) de peças de trabalho</p>	<p>Posicione alimentadores de partes fora das proteções.</p>
<p>Figura 6 – Métodos para desligamento</p>	<p>Figura 7 – Posição dos containers de armazenamento</p>

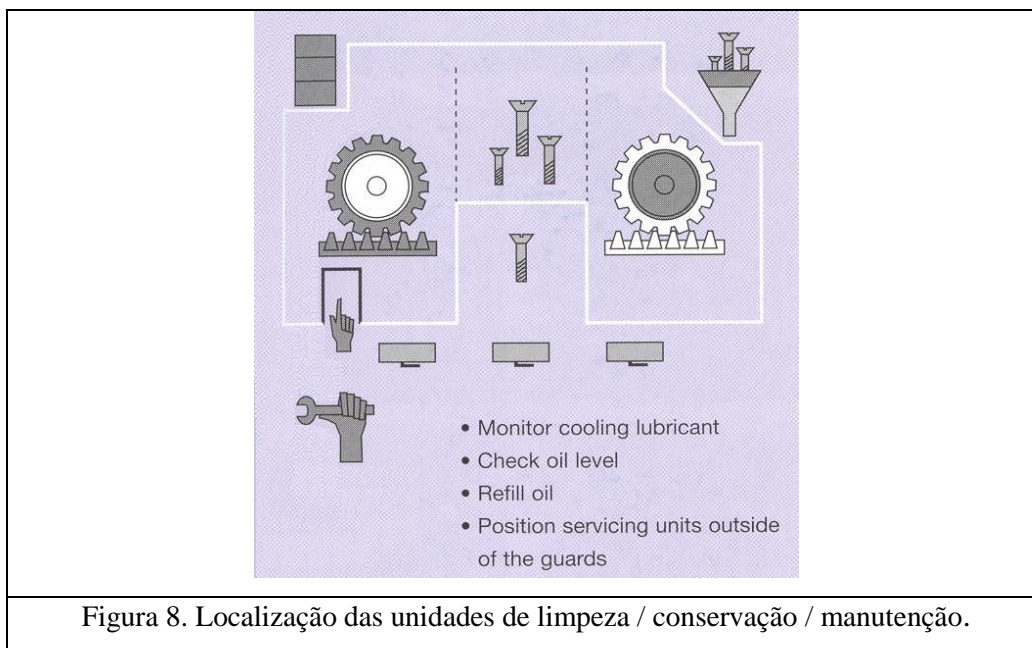
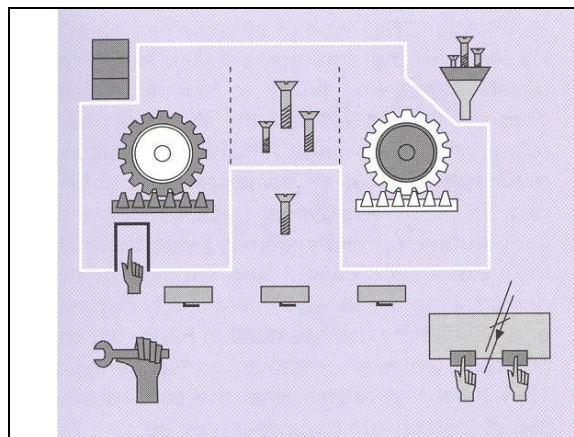


Figura 8. Localização das unidades de limpeza / conservação / manutenção.

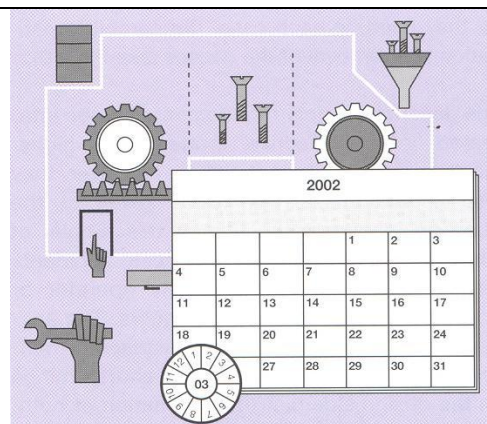
<sup>9</sup> NT: Aqui o autor refere-se à noção de gatilho ou fator, geralmente situado nas proximidades do desfecho do acidente, que dispara esse acontecimento. Reason também os denomina de fatores ativos e afirma que eles são mais conseqüências do que causas. Por isso mesmo, deveriam ser considerados como de importância menor para a prevenção.

Em resumo, a seguinte estratégia para melhoria da segurança de máquinas e equipamentos pode ser recomendada (veja a fig 11):



Prover métodos de corrigir falhas elétricas mínimas.

Figura 9. Acessos a equipamentos elétricos.



Faça testes de comissionamento e checagens periódicas das máquinas. Investigue desvios das condições operacionais.

Figura 10. Checagem de segurança

1. Gerentes operacionais e operadores devem tornar-se mais conscientes de que não devem satisfazer-se com o sucesso de curto prazo proveniente da correção de falhas. Este tipo de atitude leva muito rapidamente a uma acomodação com as falhas, a hábitos inadequados e, finalmente, a acidentes, mas não melhora a situação. Por isso mesmo, o preenchimento consistente dos requisitos de segurança deve ser demandado e obtido. Do ponto de vista operacional, a contribuição do pessoal de operação da máquina com sua experiência não pode e nem deve ser negada. Empregados que intencionalmente “*by-passam*” (contornam ou desativam) dispositivos de segurança, não devem, no futuro, contar com a leniência sem conseqüências. Eles devem, acima de tudo, compreender as conseqüências que seus comportamentos faltosos possam ter.
2. O equipamento técnico, incluindo aquele relacionado à segurança, deve ser concebido para ser mais amigável (“user-friendly”). Planejadores e designers devem tornar-se mais sensíveis às demandas justificáveis dos usuários com relação a dispositivos de segurança em máquinas, de modo a facilitar e promover seu uso e comportamentos seguros, ao invés de torná-los mais difíceis. A segurança funcional

deve ser melhorada naqueles locais suscetíveis a falhas: muitas falhas indicam pontos funcionalmente fracos em máquinas ou equipamentos. Elas prejudicam a capacidade de desempenho o que, freqüentemente, resulta no operador da máquina sendo tentado a encontrar modos de mudar ou de parar a condição geradora da falha ainda que com impacto negativo na segurança do sistema. Se o dispositivo de proteção que for fornecido, representa uma dificuldade, estorvo, ou então se revelar impraticável, então os acidentes estão esperando para acontecer. Conseqüentemente, por outro lado, as causas técnicas das falhas devem ser corrigidas ou no mínimo reduzidas e, por outro lado, a aceitação de dispositivos de proteção deve ser aumentada. A aceitação sendo maior, menor será a freqüência de acessos necessários em pontos de correção de falhas.

3. A observação continuada de equipamentos de produção deve ser realizada mais intensivamente, que anteriormente. É somente fazendo isso que os defeitos de concepção serão descobertos, corrigidos e, acima de tudo, evitados na futura geração de máquinas.

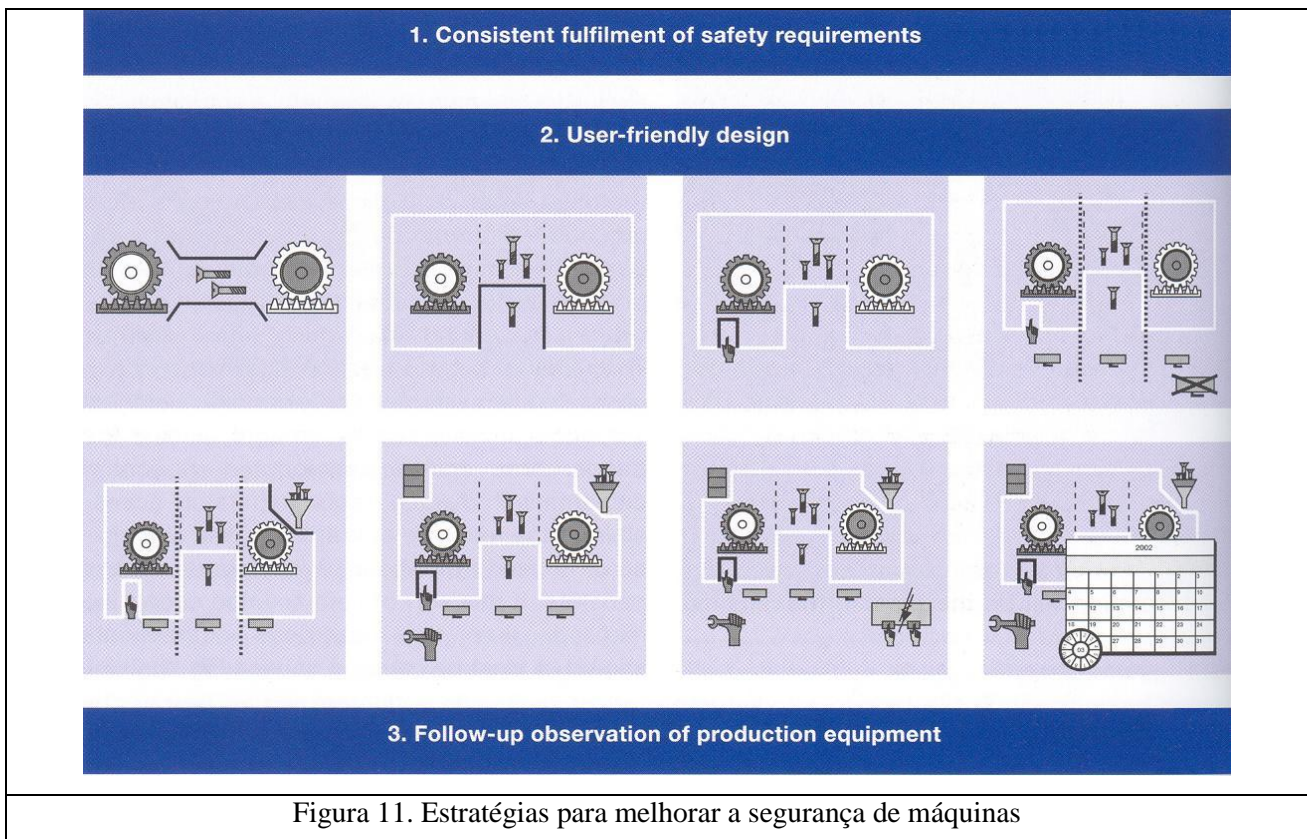


Figura 11. Estratégias para melhorar a segurança de máquinas

Se essas sugestões estratégicas básicas forem mais bem consideradas durante o estágio de concepção (“design”) e durante a operação de máquinas e equipamentos complexos, então no futuro uma contribuição significativa poderá ser feita para a melhoria da segurança de máquinas. Também aqueles envolvidos na pesquisa e no ensino são chamados a dar sua contribuição.