

# USO DOS CONCEITOS FUNDAMENTAIS DA TRIZ E DO MÉTODO DOS PRINCÍPIOS INVENTIVOS NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

**Marco Aurélio de Carvalho, M.Eng.**

NUPEM - NuPES - DAMEC - CEFET-PR  
marco@nupes.cefetpr.br

**Nelson Back, Ph.D.**

NEDIP - EMC - UFSC  
back@emc.ufsc.br

**Resumo:** *A inovação tecnológica e uma de suas bases de implementação - a solução criativa de problemas - são, cada vez mais, necessárias para o sucesso de organizações envolvidas com o desenvolvimento de produtos. Os métodos tradicionais para a solução criativa de problemas (métodos intuitivos e sistemáticos) nem sempre são suficientes. Neste artigo, descrevemos como os conceitos fundamentais da TRIZ (sigla russa para Teoria da Solução Inventiva de Problemas) e o MPI (Método dos Princípios Inventivos - um dos métodos da TRIZ) podem ser utilizados no planejamento e no projeto conceitual de produtos. Para tanto, inicialmente, apresentamos os conceitos fundamentais da TRIZ e o MPI. Para facilitação do entendimento dos conceitos fundamentais da TRIZ e do MPI, apresentamos exemplos. Em seguida, propomos uma forma de utilização destes no desenvolvimento de produtos, a qual vem sendo utilizada pelos autores na prática. Finalmente, apresentamos aplicações da proposta e derivamos algumas conclusões. São incluídos no trabalho a lista completa dos princípios inventivos, com exemplos e a matriz de contradições, de modo a possibilitar ao leitor a utilização dos conceitos fundamentais da TRIZ e do MPI na solução de problemas.*

**Palavras chave:** TRIZ, Metodologia do Projeto, Projeto Conceitual, Solução Criativa de Problemas.

## 1. Introdução

Uma parcela crescente das empresas vem procurando melhorar seus processos de desenvolvimento de produtos, como forma de aumentar a competitividade. Em termos de desenvolvimento de produtos, a necessidade de competitividade pode ser desdobrada nas necessidades de redução do tempo de desenvolvimento, aumento da qualidade e redução do custo dos produtos no ciclo de vida dos mesmos. Como resultado das tentativas de atender a estas demandas, tanto a prática empresarial como a pesquisa na área de desenvolvimento de produto vêm recebendo atenção crescente.

Observa-se, ainda, que, não somente a área de desenvolvimento de produtos recebe atenção crescente, como o foco das pesquisas na área desloca-se das etapas finais do ciclo de desenvolvimento (construção de protótipos, testes, simulação e otimização) para as etapas iniciais (definição do produto, planejamento de produto, projeto conceitual), nas quais o trabalho se dá em níveis de abstração mais altos. Esse deslocamento é motivado por diversos estudos e experiências, segundo as quais decisões tomadas nas etapas iniciais do desenvolvimento de produto são as que produzem os maiores impactos no custo total e na qualidade do produto. Por exemplo, de acordo com a pesquisa de Nordlund (1996), cerca de 80% do custo total de um produto é definido até o final da etapa de projeto conceitual.

Um caminho complementar aos da redução de custo e aumento da qualidade na busca da competitividade empresarial é o da diferenciação dos produtos, conseguida através de inovações. Idéias criativas são uma das possíveis fontes de inovação. Com idéias criativas, consegue-se produzir soluções originais e mais eficazes que as convencionais. Neste trabalho, define-se como idéia criativa aquela que é, ao mesmo tempo, útil e original.

As metodologias para o desenvolvimento de produtos existentes oferecem à equipe de

desenvolvimento centenas de métodos para apoiar a solução criativa de problemas. Dentre estes métodos, destacam-se alguns, como o brainstorming, o brainwriting, o lateral thinking e o synectics, entre os métodos intuitivos e a análise e síntese funcional, o método morfológico e a analogia sistemática, entre os métodos sistemáticos. O que se propõe no presente trabalho é apresentar uma abordagem diferenciada das demais – a TRIZ (Teoria da Solução Inventiva de Problemas) – a qual caracteriza-se pela utilização de heurísticas e determinar como seus conceitos fundamentais e um de seus métodos (o Método dos Princípios Inventivos) podem ser aproveitados para a geração de idéias criativas no processo de desenvolvimento de produtos. Um objetivo adicional deste trabalho é ser um guia para os interessados em utilizar os conceitos fundamentais da TRIZ e o MPI.

## 2. TRIZ – A Teoria da Solução Inventiva de Problemas

A TRIZ começou a ser desenvolvida durante os anos 50, por G. S. Altshuller, na ex-URSS. Altshuller (1969, 1974, 1979, 1984, 1989) estudou patentes de diferentes áreas, com o objetivo de buscar alternativas mais eficazes aos métodos de solução criativa de problemas então disponíveis – especialmente, aos métodos intuitivos. Esta abordagem diferenciou-se das demais por focalizar-se nas patentes, analisadas como registros do produto criativo das áreas técnicas e não na abordagem em que o objeto de estudo são as vidas dos inventores, muito utilizada por pesquisadores vinculados à Psicologia. Altshuller e seus colaboradores procuraram definir quais os processos envolvidos na obtenção das soluções criativas contidas nas patentes. A partir da análise de patentes, foram encontradas certas regularidades, a partir das quais foram definidos princípios, leis e uma teoria para a solução de problemas, a TRIZ.

A TRIZ clássica - desenvolvida por Altshuller e seus

colaboradores - é composta por métodos para a formulação e a solução de problemas, uma base de conhecimento e leis da evolução dos sistemas técnicos (STs). A expansão da TRIZ para áreas como Administração, Pedagogia, Letras e outras vem ocorrendo nos últimos anos. Por falta de intercâmbio com os países ocidentais durante o regime comunista da ex-URSS, a difusão da TRIZ no Ocidente somente se iniciou há pouco mais de uma década. Com a doença de Altshuller, nos últimos anos, o desenvolvimento da TRIZ passou a ser liderado por seus antigos colaboradores. Neste trabalho serão considerados os conceitos fundamentais da TRIZ e o Método dos Princípios Inventivos (MPI).

### 3. Conceitos fundamentais da TRIZ

Os conceitos fundamentais da TRIZ são idealidade, contradição e recursos.

A idealidade de um ST é a razão entre o número de funções desejadas e o número de funções indesejadas que o sistema executa. O próprio ST é entendido, na TRIZ, como um "preço" pago pela execução de funções desejadas por seus usuários. O usuário e a sociedade "pagam" o custo financeiro do ST, seu desenvolvimento, sua utilização e manutenção, sua produção e descarte. Quanto mais próximo do ideal, ou seja, quanto mais evoluído o ST, menor é esse "preço". A partir do conceito de idealidade, é definido o RFI (Resultado Final Ideal), como sendo uma solução à qual se pretende chegar na solução do problema, arbitrária e mais próxima do ideal que a solução atual.

Contradições são requisitos conflitantes com relação a um mesmo ST. Por exemplo, a haste de um ferro de solda utilizado na montagem de componentes elétricos e eletrônicos deve ser longa, para não queimar a mão do soldador e deve ser curta, para facilitar o controle da operação. Uma solução extremista seria fazer a haste muito longa, o que evitaria queimaduras, mas, prejudicaria a precisão do controle. Outra solução extremista seria fazer a haste curta, o que provocaria ferimentos no soldador ou introduziria a necessidade de uso de equipamentos de proteção. Uma solução que procura contornar a contradição seria fazer a haste não muito curta, nem muito longa: um meio termo é estabelecido. A busca de solução da contradição consiste em não procurar evitá-la, mas, resolvê-la criativamente. Como um exemplo de solução que resolve a contradição, a haste poderia ter forma similar à de uma ferradura (Figura 1). Assim, o cabo seria suficientemente longo, para adequada transmissão de calor e seria suficientemente curto, para um controle adequado.

Os recursos de um sistema podem ser definidos como quaisquer elementos do sistema ou das cercanias que ainda não foram utilizados para a execução de funções úteis no sistema. Há casos em que a simples identificação de recursos não aproveitados em um sistema leva a soluções inventivas. Existem diferentes classes de recursos: internos; externos; naturais; sistêmicos; funcionais; espaciais; temporais; de campo; de substância; de informação. Um exemplo do uso de recursos do sistema é o turbocompressor utilizado em motores de

combustão interna, que transforma parte da energia dos gases de combustão em sobrepressão do ar alimentado. Neste caso, o recurso utilizado corresponde à energia. Outro exemplo é o aproveitamento de resíduos liberados num processo como insumo para um outro processo, numa utilização de recursos de substância.

Tanto a solução de contradições como a utilização de recursos torna o sistema mais próximo do ideal.

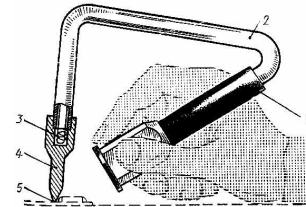


Figura 1 - Uma solução criativa para o problema do ferro de solda (Martylenko & Gokhman, 1982)

### 4. Método dos princípios inventivos (MPI)

O MPI foi idealizado por Altshuller (1969) e é o mais difundido dos métodos da TRIZ.

Os princípios inventivos (PIs) são heurísticas, ou sugestões de possíveis soluções para um determinado problema. Tais princípios foram obtidos a partir da generalização e agrupamento de soluções repetidamente utilizadas na criação, desenvolvimento e melhoria de sistemas técnicos de diferentes áreas. Esse trabalho foi feito a partir da análise de uma grande quantidade de patentes. Os PIs são apresentados no Quadro 1. Descrições e exemplos para cada um dos PIs podem ser encontradas em Altshuller (1969, 1974, 1980, 1989).

Quadro 1 - Princípios inventivos (Altshuller, 1969)

1. Segmentação ou fragmentação	2. Remoção ou extração
3. Qualidade localizada	4. Assimetria
5. Consolidação	6. Universalização
7. Aninhamento	8. Contrapeso
9. Compensação prévia	10. Ação prévia
11. Amortecimento prévio	12. Equipotencialidade
13. Inversão	14. Recurvação
15. Dinamização	16. Ação parcial ou excessiva
17. Transição para nova dimensão	18. Vibração mecânica
19. Ação periódica	20. Continuidade da ação útil
21. Aceleração	22. Transformação de prejuízo em lucro
23. Retroalimentação	24. Mediação
25. Auto-serviço	26. Cópia
27. Uso e descarte	28. Substituição de meios mecânicos
29. Construção pneumática ou hidráulica	30. Uso de filmes finos e membranas flexíveis
31. Uso de materiais porosos	32. Mudança de cor
33. Homogeneização	34. Descarte e regeneração
35. Mudança de parâmetros e propriedades	36. Mudança de fase
37. Expansão térmica	38. Uso de oxidantes fortes
39. Uso de atmosferas inertes	40. Uso de materiais compostos

A forma mais simples de utilização dos princípios inventivos é o uso direto, que consiste em simples análise de cada um dos PIs e tentativa de aplicá-los para a melhoria do ST.

A segunda forma de aplicação dos princípios inventivos envolve a identificação de contradições, a modelagem das mesmas em termos de parâmetros de engenharia conflitantes, o uso da matriz de contradições (MC) para identificar os PIs com maior potencial e sua aplicação. Os parâmetros de engenharia são mostrados no Quadro 2 e a MC pode ser encontrada em Altshuller (1969, 1974, 1980, 1989).

Os parâmetros de engenharia correspondem a grandezas genéricas, presentes em problemas técnicos de diferentes áreas. As contradições existentes no problema original devem ser traduzidas em termos de um primeiro parâmetro de engenharia, o qual se deseja melhorar e de um segundo, que é piorado em função da melhora do primeiro. A melhora de um parâmetro de engenharia pode implicar em seu aumento ou diminuição, dependendo da situação.

As duas formas de aplicação dos princípios inventivos são descritas no item 5 e aplicadas no item 6.

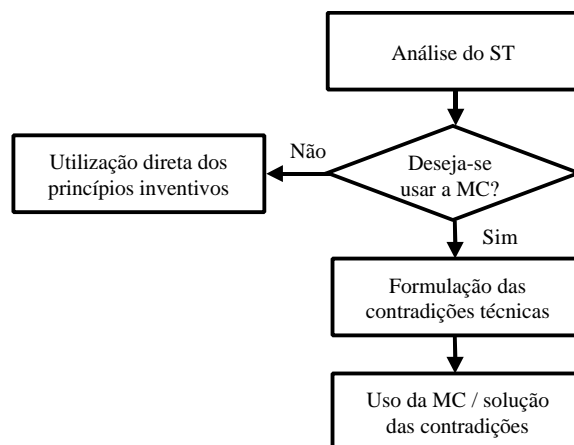
**Quadro 2 - Parâmetros de engenharia (Altshuller, 1969)**

1. Peso do objeto em movimento	2. Peso do objeto parado
3. Comprimento do objeto em movimento	4. Comprimento do objeto parado
5. Área do objeto em movimento	6. Área do objeto parado
7. Volume do objeto em movimento	8. Volume do objeto parado
9. Velocidade	10. Força
11. Tensão ou pressão	12. Forma
13. Estabilidade da composição	14. Resistência
15. Duração da ação do objeto em movimento	16. Duração da ação do objeto parado
17. Temperatura	18. Brilho
19. Energia gasta pelo objeto em movimento	20. Energia gasta pelo objeto parado
21. Potência	22. Perda de energia
23. Perda de substância	24. Perda de informação
25. Perda de tempo	26. Quantidade de substância
27. Confiabilidade	28. Precisão de medição
29. Precisão de fabricação	30. Fatores externos indesejados atuando no objeto
31. Fatores indesejados causados pelo objeto	32. Manufaturabilidade
33. Conveniência de uso	34. Manutenibilidade
35. Adaptabilidade	36. Complexidade do objeto
37. Complexidade de controle	38. Nível de automação
39. Capacidade ou produtividade	

## 5. Aplicação dos conceitos fundamentais da TRIZ e do MPI no processo de desenvolvimento de produtos

Como descrito no item 4, há duas opções para a aplicação do MPI, sendo a primeira delas sem uso da MC e a segunda, com uso da MC. Ambos os processos iniciam-se com a análise do ST, (ver Figura 2). A versão

do MPI mostrada neste artigo foi modificada em relação ao original de Altshuller (1969), de modo a refletir a experiência dos autores no uso do método e embutir os conceitos fundamentais da TRIZ na etapa de análise do ST.



**Figura 2 - Fluxograma para uso dos conceitos fundamentais da TRIZ e do MPI**

A etapa de análise do ST consiste nos seguintes passos:

1. Identificação (nome) do ST;
2. Identificação da função ou funções principais do ST;
3. Identificação dos principais elementos do ST e de suas funções;
4. Descrição do funcionamento do ST;
5. Levantamento dos recursos;
6. Identificação da características desejada a ser melhorada ou da característica indesejada a ser reduzida, eliminada ou neutralizada no ST;
7. Formulação do resultado final ideal (RFI).

Após a análise do ST, decide-se pelo uso ou não da MC. Tal decisão é deixada a critério do usuário. Como diretriz para a decisão, propomos o seguinte: se a melhoria da característica desejada ou a eliminação da característica indesejada identificadas no passo 6 puderem ser obtidas sem causar problemas adicionais, ou se esses problemas adicionais puderem ser ignorados, sugerimos utilizar os PIs de forma direta.

Para usar diretamente os PIs, pode-se escolhê-los do Quadro 1, ou tentar aplicá-los na ordem decrescente da frequência de utilização, que é a seguinte (Altshuller, 1969): 35 - o mais utilizado, 10, 1, 28, 2, 15, 19, 18, 32, 13, 26, 3, 27, 29, 34, 16, 40, 24, 17, 6, 14, 22, 39, 4, 30, 37, 36, 25, 11, 31, 38, 8, 5, 7, 21, 23, 12, 33, 9 e 20 - o menos utilizado.

A segunda opção, com uso da MC, implica na identificação de contradições, modelagem destas em termos de contradições entre parâmetros de engenharia e posterior consulta da MC. A formulação das contradições técnicas pode ser feita via característica desejada a ser melhorada e/ou via característica indesejada a ser reduzida, eliminada ou neutralizada (respectivamente,

passos 8 e 9) e é detalhada a seguir:

8. Formulação das contradições técnicas via característica desejada a ser melhorada:
  - 8.1 Identificação da característica desejada a ser melhorada;
  - 8.2 Identificação da solução convencional para melhorar a característica desejada;
  - 8.3 Identificação da característica prejudicada com uso da solução convencional;
  - 8.4 Formulação da contradição técnica: se a característica (característica desejada a ser melhorada) é melhorada com (solução convencional para melhorar a característica desejada), então, a(s) característica(s) (...) é(são) piorada(s).
  
9. Formulação das contradições técnicas via característica indesejada a ser reduzida, eliminada ou neutralizada:
  - 9.1 Identificação da característica indesejada a ser reduzida, eliminada ou neutralizada;
  - 9.2 Identificação da solução convencional para reduzir, eliminar ou neutralizar a característica indesejada;
  - 9.3 Identificação da característica prejudicada com uso da solução convencional;
  - 9.4 Formulação da contradição técnica: se a característica (característica indesejada a ser reduzida, eliminada ou neutralizada) é reduzida / eliminada / neutralizada com (solução convencional para reduzir, eliminar ou neutralizar a característica indesejada), então, a(s) característica(s) (...) é(são) piorada(s) ou outra(s) característica(s) negativa(s) (...) serão intensificadas.

Em seguida à formulação das contradições técnicas, passa-se à modelagem das mesmas em termos de parâmetros de engenharia e busca de soluções:

10. Reformulação da(s) contradição(ões) identificada(s) em termos de parâmetros de engenharia contraditórios;
11. Uso da matriz de contradições para identificar os PIs a aplicar (as entradas são, nas linhas, os parâmetros de engenharia a ser melhorados e, nas colunas, os parâmetros que tendem a degradar-se com a melhoria dos parâmetros a serem melhorados);
12. Aplicação dos PIs para solucionar a(s) contradição(ões).

## 6. Estudos de caso

Neste item, o processo de aplicação dos conceitos fundamentais da TRIZ e do MPI é ilustrado com a solução de problemas numa roçadeira lateral e no processo de corte de chapas plásticas por uma guilhotina.

### 6.1. Caso 1 - Roçadeira lateral (de Carvalho, 1999)

Roçadeiras laterais são máquinas utilizadas para o corte de vegetação rasteira e de pequenas árvores em propriedades rurais e urbanas e em espaços públicos como jardins, praças, canteiros e outros. Uma roçadeira lateral típica é mostrada na Figura 3.



**Figura 3 - Operador utilizando uma roçadeira lateral**

Um dos principais problemas que afligem os operadores das roçadeiras é a sustentação do peso da máquina. Embora as roçadeiras laterais sejam vendidas com alças de suporte, ainda assim, o trabalho contínuo com estas máquinas solicita fisicamente o operador, causando fadiga. O uso de rodas, por exemplo, não soluciona o problema, por limitar a manobrabilidade e versatilidade da máquina.

Outro grave problema causado pelas roçadeiras é o da projeção de resíduos e objetos diversos, que, se entrarem em contato com as lâminas, são lançados com velocidade e a grandes distâncias, podendo ferir o operador e transeuntes.

Vamos buscar soluções para estes problemas com o MPI sem uso da MC. O processo de análise do ST é apresentado na Tabela 1 e na Tabela 2.

**Tabela 1 - Análise do ST para o prolema da roçadeira (1ª parte)**

Passo do MPI	Exemplo
1. Identificação (nome) do ST	Roçadeira lateral.
2. Identificação da função ou funções principais do ST	Corte de vegetação.
3. Identificação dos principais elementos do ST e de suas funções	Tanque de combustível: armazenar energia; Motor: transformar energia; Transmissão: transmitir energia; Acelerador: controlar velocidade; Manoplas: controlar direção; Chave: iniciar / interromper corte; Alças: transmitir peso; Proteção: receber / amortecer impactos.

**Tabela 2 - Análise do ST para o prolema da roçadeira (2ª parte)**

4. Descrição do funcionamento do ST	O trabalho com a roçadeira inicia-se pela partida do motor. A rotação do motor é imediatamente transmitida através dos eixos e elementos de transmissão até a lâmina, que vai sendo posicionada pelo operador na região onde há vegetação a ser cortada. O operador controla a rotação do motor, através de um acelerador e acopla ou desacopla o motor, conforme a ação da lâmina seja ou não desejada. A direção de operação é controlada manualmente, através de manoplas. A sustentação da roçadeira é feita pelo próprio corpo do operador, através de uma alça apoiada pelos ombros e um apoio na parte lateral de seu quadril ou coxa.
5. Levantamento dos recursos	Recursos de substância: vegetação, ramos, pedras, terra, ar, umidade, óleo, gasolina, madeira, motor, poeira, vegetais cortados, carenagem, lâmina, cubo, gases de escape, suor do operador; Recursos de energia: calor do ambiente, energia solar, energia cinética dos resíduos, energia química do combustível, energia térmica dos gases de escape, pressão e velocidade dos gases de escape, energia térmica do ar, energia cinética do ar, energia cinética da lâmina, energia muscular do operador, energia térmica do operador; Recursos de espaço: espaço entre, sob ou sobre as lâminas, espaço sob ou sobre a carenagem, espaço ao redor do aparelho, espaço ocupado pelas lâminas não em operação de corte; Recursos de campo: gravitacional, centrífugo, elétrico (ddp entre dois pontos de diferentes alturas), magnético, pressão do vento, térmico (motor), magnético (terrestre); Recursos de tempo: tempo de inação do aparelho, tempo de inação da lâmina, tempo entre um impacto da lâmina e outro; Recursos de informação: liga/desliga, aceleração, frenagem, direcionamento; Recursos de função: coleta de vegetais, acúmulo de vegetais, fertilização do solo, aplicação de fungicida, sustentação do aparelho.
6. Identificação da característica desejada a ser melhorada ou da característica indesejada a ser reduzida, eliminada ou neutralizada no ST	A característica indesejada a ser reduzida, eliminada ou neutralizada no ST roçadeira lateral é a sustentação do peso pelo operador.
7. Formulação do resultado final ideal (RFI)	A roçadeira deve cortar vegetais adequadamente, sem que o operador precise sustentar seu peso e sem que a complexidade do ST seja aumentada.

limitados pela nossa própria imaginação (ou falta dela).

**Tabela 3 - Utilização direta dos PIs para o problema da sustentação do peso**

Princípio inventivo	Idéia
PI 2 - Remoção ou extração	Remover o peso suportado pelo operador, ou parte dele: <ul style="list-style-type: none"> <li>• apoio do peso sobre rodas;</li> <li>• apoio do peso numa haste, apoiada no solo.</li> </ul>
PI 8 - Contrapeso	Compensar o peso suportado pelo operador, ou parte dele: <ul style="list-style-type: none"> <li>• fazer com que as lâminas produzam sustentação aerodinâmica;</li> <li>• utilizar um balão para sustentação do peso.</li> </ul>

**Tabela 4 - Utilização direta dos PIs para o problema da projeção de resíduos**

Princípio inventivo	Idéia
PI 25 - Autosserviço	Usar elementos da própria roçadeira para evitar a projeção de resíduos: <ul style="list-style-type: none"> <li>• coletar e lançar resíduos cortados sobre novos resíduos;</li> <li>• usar os gases de escape para defletir os resíduos.</li> </ul>

Na Figura 4, é apresentada uma nova concepção para a roçadeira lateral. Para a obtenção da concepção, foi feita uma associação das idéias geradas com uso dos PIs com os recursos identificados na análise do ST.



**Figura 4 - Uma nova concepção para a roçadeira**

Após a análise do ST, procuramos seguir o Quadro 1 e, partir dele, fazer uso direto dos PIs. Assim, chegamos às idéias mostradas na Tabela 3 e na Tabela 4, respectivamente para os problemas da sustentação do peso e da projeção de resíduos.

Para o problema da sustentação de peso, os únicos PIs que nos inspiraram idéias que consideramos interessantes foram os PIs 2 (remoção ou extração) e 8 (contrapeso). Para o problema da projeção de resíduos, o único PI considerado inspirador foi o 25 (autosserviço). Isso não significa que idéias melhores não pudessem ser obtidas a partir de outros PIs, senão que estivemos

A concepção apresentada incorpora a haste para transmissão do peso ao solo e utiliza resíduos e gases de escape para defletir novos resíduos lançados pelas lâminas. A haste para suporte deve ser projetada de forma a ter rigidez no eixo vertical e flexibilidade no plano horizontal, para adequado suporte do peso da roçadeira sem prejuízo à movimentação do operador. O suporte do peso da máquina é feito através da haste durante a maior parte do tempo de utilização (com o pé apoiado no solo) e pelo corpo do operador, com auxílio da alça, durante os

períodos da movimentação do operador em que o pé direito (e a haste) estiver afastado do solo. Através do uso da energia dos gases de escape e do efeito venturi, parte dos resíduos do corte realizado pelas lâminas será sugada através de aberturas na parte inferior traseira da proteção e transportada até a região frontal da proteção através de dutos. Esses resíduos serão lançados sobre a região que está sendo cortada, num ângulo tal que cause a deflexão da parte dos resíduos que normalmente seria lançada para longe da roçadeira na direção do solo. Como formas adicionais de suporte da roçadeira e aumento da segurança, são previstos um cubo hemisférico entre as lâminas, para permitir o apoio ocasional da roçadeira no solo e lâminas pivotadas no plano horizontal, as quais tendem a fornecer menos energia mecânica aos resíduos.

### 6.2. Caso 2 - Corte de chapas plásticas por uma guilhotina (de Carvalho, 2001)

Nosso segundo exemplo refere-se a uma guilhotina, a qual é utilizada numa indústria para cortar chapas de plástico. Este problema tem sido utilizado para o ensino dos conceitos fundamentais da TRIZ e do MPI para os alunos do curso de Engenharia Industrial Mecânica do CEFET-PR.

Um esquema do problema é mostrado na Figura 5. Um manipulador coloca uma pilha de chapas de plástico sobre a mesa da máquina. A pilha é comprimida por um pressionador, até que um limitador é acionado. Então, a faca desce e corta as chapas. Para garantir o corte completo das chapas de plástico, a faca precisa atravessá-las completamente. Verificou-se, experimentalmente, que a faca precisa ultrapassar a chapa mais inferior em cerca de 2 mm, para que ocorra um bom corte. Entretanto, a mesa que apoia as chapas é de aço, e a faca também. Se a faca bate na mesa, acaba deformando-se ou quebrando. A solução paliativa encontrada foi colocar sarrafos dentro de uma ranhura, sob a pilha de chapas. Os sarrafos não duram muito, tendo sido obtidos os melhores resultados com pinho. Cada sarrafo dura cerca de meio turno de trabalho. Já se tentou utilizar borracha, em vez de madeira, mas, a qualidade do corte é prejudicada, porque a borracha deforma-se com o impacto, causando imprecisão, trincas e rebarbas nas chapas cortadas.

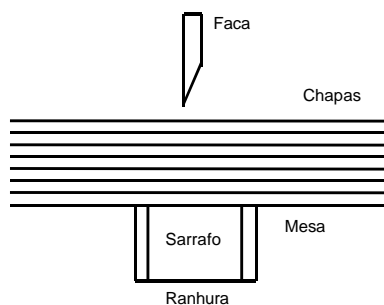


Figura 5 - Corte de chapas na guilhotina

Para este caso, vamos analisar o ST e gerar idéias de solução utilizando a MC. A análise do ST é apresentada na Tabela 5.

Tabela 5 - Análise do ST para o problema da guilhotina

Passo do MPI	Exemplo
1. Identificação (nome) do ST	Máquina para o corte de chapas de plástico.
2. Identificação da função ou funções principais do ST	Cortar chapas de plástico (com precisão e sem cavacos ou rebarbas).
3. Identificação dos principais elementos do ST e de suas funções	Faca: cortar chapas (função desejada), cortar sarrafo (função indesejada); Chapas: sofrer corte (função desejada), trincar (função indesejada); Sarrafo: suportar chapas (função desejada), sofrer corte (função indesejada); Mesa: suportar chapas (função desejada), deformar ou quebrar a faca (função indesejada).
4. Descrição do funcionamento do ST	O manipulador posiciona as chapas, que são comprimidas pelo pressionador contra a mesa, até que o limitador seja acionado e interrompa a compressão. Então, a faca é acionada e corta as chapas. O corte das chapas ocorre pelo esforço de tração. Por isso, a faca precisa ultrapassar por cerca de 2 mm as chapas, de forma que ocorra o corte completo. Outra exigência para que ocorra o corte é que as chapas estejam apoiadas sobre uma superfície. Isso é feito sobre o sarrafo, que apoia as chapas e permite a penetração da faca.
5. Levantamento dos recursos	Recursos de substância: faca, mesa, chapas, sarrafo, cavacos, pressionador, limitador, manipulador, ar, óleo; Recursos de energia: energia potencial (da máquina), energia cinética, energia potencial gravitacional, energia do ar comprimido, energia elétrica; Recursos de espaço: interior da ranhura, espaço ao redor da faca, espaço sob a mesa, espaço em volta da máquina; Recursos de campo: gravitacional, magnético, eletrostático, pressão pneumática; Recursos de tempo: tempo preliminar ao corte, tempo de corte, tempo posterior ao corte, pausas; Recursos de informação: anisotropia do sarrafo (madeira), ruptura do plástico por tração, maciez do sarrafo, rigidez da faca, velocidade do corte; Recursos de função: empacotamento das chapas.
6. Identificação da característica desejada a ser melhorada ou da característica indesejada a ser reduzida, eliminada ou neutralizada no ST	Característica indesejada a ser reduzida, eliminada ou neutralizada: destruição dos sarrafos.
7. Formulação do resultado final ideal (RFI)	A faca corta completamente as chapas, sem a necessidade de sarrafos e sem complicação do sistema.

Na Tabela 6, é feita a transição da característica indesejada a ser reduzida, eliminada ou neutralizada para a contradição técnica. Observe-se que, neste exemplo, optamos por formular contradições a partir da característica indesejada a ser reduzida, eliminada ou neutralizada, porque esta parecia a mais lógica. No passo 9.2, foram identificadas duas soluções convencionais (a e b), o que acabou resultando em duas contradições técnicas, sendo a contradição "a" relacionada com o aumento da complexidade do ST e a contradição "b"

relacionada com a durabilidade da faca.

**Tabela 6 - Formulação das contradições técnicas para o problema da guilhotina**

Passo do MPI	Exemplo
9.1. Identificação da característica indesejada a ser reduzida, eliminada ou neutralizada	Baixa durabilidade do sarrafo.
9.2. Identificação da solução convencional para reduzir, eliminar ou neutralizar a característica indesejada	a) Utilizar mais uma lâmina, para fazer o corte por cisalhamento; b) Utilizar um apoio mais rígido.
9.3. Identificação da característica prejudicada com uso da solução convencional	a) Complexidade do ST; b) Durabilidade da faca.
9.4. Formulação da contradição técnica	a) Se a durabilidade do sarrafo é reduzida, eliminada ou neutralizada com o uso de mais uma lâmina, então, a complexidade do ST é piorada; b) Se a durabilidade do sarrafo é reduzida, eliminada ou neutralizada com o uso de um apoio mais rígido, então, a durabilidade da faca é piorada.

Uma vez obtidas as contradições técnicas, passamos à busca de soluções para as contradições (Tabela 7 e Tabela 8). A transição dos itens 8.4 ou 9.4 para o item 10 não é trivial e deve ser feita com cuidado. Dependendo do problema, uma mesma contradição pode ser modelada com pares de parâmetros de engenharia diferentes. O recomendado é testar todas as possíveis combinações, para, então, passar à geração de idéias com uso dos PIs.

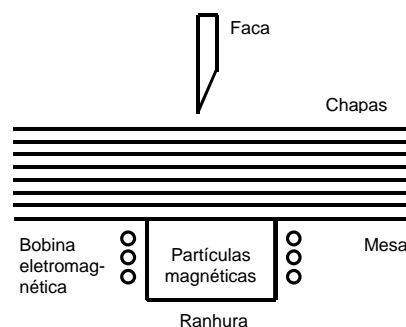
**Tabela 7 - Uso da MC / solução das contradições técnicas para o problema da guilhotina - 1ª parte**

Passo do MPI	Exemplo
10. Reformulação da(s) contradição(ões) identificada(s) em termos de parâmetros de engenharia contraditórios	a) 23 (perda de substância) x 36 (complexidade do objeto); b) 23 (perda de substância) x 15 (duração da ação do objeto em movimento).
11. Uso da matriz de contradições para identificar os princípios inventivos a aplicar	a) A matriz de contradições sugere, para os parâmetros contraditórios 23 e 36, os PIs 35 (mudança de parâmetros e propriedades), 10 (ação prévia), 28 (substituição de meios mecânicos) e 24 (mediador); b) A matriz de contradições sugere, para os parâmetros contraditórios 23 e 15, os PIs 28 (substituição de meios mecânicos), 27 (uso de objetos descartáveis), 3 (qualidade localizada) e 18 (vibração mecânica).
12. Aplicação dos princípios inventivos para solucionar a(s) contradição(ões)	Com uso do PI 28 (substituição de meios mecânicos), foram identificadas as seguintes idéias: 12.1. Corte das chapas com microondas ou meios químicos; 12.2. "Sarrafo magnético": ranhura preenchida com partículas magnéticas acionadas por uma bobina - suficientemente rígido para apoiar as chapas e suficientemente macio para permitir a penetração da faca.

**Tabela 8 - Uso da MC / solução das contradições técnicas para o problema da guilhotina - 2ª parte**

12. Aplicação dos princípios inventivos para solucionar a(s) contradição(ões)	Com uso do PI 35 (mudança de parâmetros e propriedades), foram geradas as seguintes idéias: 12.3. Corte das chapas com microondas ou meios químicos; 12.4. Corte das chapas por fusão, com uso de resistência elétrica; 12.5. Corte das chapas por fratura, com as chapas fragilizadas por congelamento; 12.6. Substituição do sarrafo por gelo - no momento do contato com a faca, ocorreria fusão e, conseqüentemente, facilidade de penetração; em seguida, ocorreria recongelamento da água no interior da ranhura; 12.7. Substituição do sarrafo por gelo seco 12.8. Idéia similar à anterior, com uso de gelo seco.
---	---

As melhores idéias geradas são a 12.2 (ilustrada na Figura 6), 12.7 e 12.8, por fazerem uso de recursos e por sua implementação demandar menores modificações no ST. As outras soluções encontradas poderiam levar a melhorias futuras, mas implicariam em alterações mais profundas do ST. Deixamos a critério do leitor a busca de soluções adicionais, com uso dos PIs recomendados pela matriz de contradições e de outros.



**Figura 6 - Solução 12.2 ("sarrafo magnético")**

## 7. Conclusões

Neste trabalho, foram apresentados os conceitos fundamentais da TRIZ, um dos métodos para a solução de problemas da TRIZ (o MPI) e um algoritmo para a aplicação dos mesmos à solução criativa de problemas no processo de desenvolvimento de produtos. Para ilustrar os conceitos apresentados e o uso do algoritmo, foram apresentados exemplos.

Embora tanto os conceitos fundamentais da TRIZ (idealidade, contradição e recursos) como o MPI sejam relativamente antigos (Altshuller, 1969), verificamos, nos exemplos apresentados e em outros, desenvolvidos com alunos de Metodologia de Projeto do curso de Engenharia Industrial Mecânica do CEFET-PR, que são úteis na solução de problemas de desenvolvimento de produto, sejam eles relacionados a reprojeto como a projetos de novos produtos. É verdade, entretanto, que os PIs deveriam ser revisados, de modo a refletir as patentes mais recentes, nas quais se percebe a tendência de diminuição da participação de soluções mecânicas e

químicas (fortemente representadas nos PIs propostos por Altshuller) e o aumento da participação de soluções eletrônicas, biológicas e da área de informática. Existem iniciativas nesse sentido, como descrito em Wei et al., 2000 e de Carvalho et al., 2001.

## 8. Referências bibliográficas

1. ALTSHULLER, G. S. **Innovation Algorithm**. Worcester: Technical Innovation Center, 1999 (1a ed. russa, 1969).
2. ALTSHULLER, G. S. **Forty Principles**. Worcester: Technical Innovation Center, 1998 (1a ed. russa, 1974).
3. ALTSHULLER, G. S. **Creativity as An Exact Science** - The Theory of The Solution of Inventive Problems. 1a. ed. Luxemburg: Gordon & Breach, 1984 (1a ed. russa, 1979).
4. ALTSHULLER, G. S.; SELJUZKI, A. **Flügel für Ikarus** - Über die Moderne Technik des Erfindens. Moscou: Mir, 1980.
5. ALTSHULLER, G. S.; ZLOTIN, B.; ZUSMAN, A.; PHILATOV, V. **Searching for New Ideas: From Insight to Methodology** - The Theory and Practice of Inventive Problem Solving. Kishinev: Kartya Moldovenyaska, 1989 (Publicado em inglês como Tools of Classical TRIZ. Southfield: Ideation International, 1999).
6. DE CARVALHO, M. A. **Modelo Prescritivo para a Solução Criativa de Problemas nas Etapas Iniciais do Desenvolvimento de Produtos**. Florianópolis: UFSC, 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), UFSC.
7. DE CARVALHO, M. A. **Notas de Aula da Disciplina Metodologia de Projetos**. Curitiba: CEFET-PR, 2001.
8. DE CARVALHO M. A., WEI, T. C., SAVRANSKY, S. D. Validation of Heuristics for Systems Transformations. **Proceedings of TRIZCON2001**. Woodland Hills, CA, USA. March, 2001.
9. MARTYNNENKO, Y. N., GOKHMAN, B. M., URSS. **Electric Solderer**. Patente da União Soviética SU 916166, 1982.
10. NORDLUND, M. **An Information Framework for Engineering Design Based on Axiomatic Design**. Estocolmo, 1996. 147 p. Tese (Doutorado) - Departamento de Sistemas de Manufatura, KTH.
11. WEI, T. C., DE CARVALHO, M. A., SAVRANSKY, S. D. **100+ Heuristics for Systems Transformations: A brief report of US Patent Fund Study**. WWW.TRIZ-JOURNAL.COM, September, 2000.

## 9. Endereço para correspondência

Marco Aurélio de Carvalho, CEFET-PR / DAMEC / NuPES, Av. Sete de Setembro, 3165, 80230-901, Curitiba, PR, fone 41-310-4770, fax 41-310-4753.