

A TRIZ (Teoria da Solução Inventiva de Problemas)

*“Ao contrário do que indica o senso comum, a criatividade pode ser controlada.”
Genrich S. Altshuller*

No presente capítulo, é descrita a metodologia TRIZ, que é o principal fundamento da metodologia de ideação proposta nesta pesquisa, bem como seus métodos para a formulação de problemas e para a ativação da imaginação.

A TRIZ é uma criação de G. S. Altshuller. O desenvolvimento da TRIZ iniciou-se nos anos 1940 e o artigo considerado fundamental foi publicado em 1956 (ALTSHULLER & SHAPIRO, 1956). A sigla TRIZ vem do russo e poderia ser transcrita do alfabeto cirílico para o latino como *Teória Retchénia Izobretátelskikh Zadátchi*. A tradução mais correta é Teoria da Resolução de Problemas Inventivos (*Izobretátelskikh Zadátchi*)⁸. A sigla TRIZ somente surgiu nos anos 1970, mas, acabou sendo amplamente adotada, sendo hoje um termo “guarda-chuva”, que serve para designar a TRIZ Clássica (de Altshuller), bem como desenvolvimentos posteriores como I-TRIZ (ZLOTIN & ZUSMAN, 1999), Inovação Sistemática (MANN, 2002), TRIZPlus, entre outros.

⁸ A TRIZ é mais conhecida como Teoria da Solução Inventiva de Problemas (tradução em português daquela feita do russo para o inglês, *Theory of Inventive Problem Solving*). Embora reconheça-se que esta tradução não é a mais correta, ela é a mais difundida, é coerente com a finalidade da TRIZ e é a adotada neste trabalho.

Altshuller (1969, 1974, 1979, 1980, 1984, 1989) estudou patentes de diferentes áreas, com o objetivo de buscar alternativas mais eficazes para os métodos para a resolução de problemas até então disponíveis – o *brainstorming* e o método morfológico. Esta abordagem diferenciou-se das anteriores por focalizar-se nos registros do produto criativo das áreas técnicas: as patentes. Altshuller e, posteriormente, seus colaboradores, procuraram definir quais os processos envolvidos na obtenção das soluções criativas contidas nas patentes. Assim, por meio do estudo das patentes, foram sendo encontradas e colecionadas regularidades, com o intuito de uso para a solução de futuros problemas.

4.1 NÍVEIS INVENTIVOS

Durante o desenvolvimento da TRIZ, Altshuller acreditava estar criando uma metodologia universal para a resolução de problemas inventivos, ou seja, uma categoria especial de problemas, nos quais é necessária a resolução de uma contradição (conceito detalhado a seguir, no item Fundamentos Filosóficos). Deste modo, o autor focou sua pesquisa por heurísticas, princípios e leis nas invenções consideradas de alto nível inventivo, com base na classificação resumida no Quadro 4.1 (ALTSULLER, 1969). Logo, porém, a TRIZ expandiu-se para além da resolução de problemas que contém contradições. Como será visto a seguir, somente dois dos métodos para a ideação focalizam a resolução de contradições (o Método dos Princípios Inventivos e o Método da Separação).

O nível 1 corresponde às patentes que descrevem a resolução de problemas rotineiros, limitadas a pequenas mudanças em relação ao estado da técnica. As invenções de nível 2 envolvem um pouco mais de conhecimento por parte do inventor, mas, ainda sem a introdução de conhecimento de áreas remotas e sem que tenha ocorrido a resolução de uma contradição. Invenções de nível 3 representam mudanças mais significativas, muitas vezes com a introdução de elementos que eram estranhos à indústria em questão e envolvem a remoção de contradições.

O nível 4 corresponde àquelas invenções que, praticamente, nada têm a ver com o estado da técnica, ou seja, utilizam princípios de funcionamento diferentes dos tradicionais e, portanto, estão criando novos paradigmas tecnológicos. Finalmente, as invenções de nível 5 correspondem ao resultado de pioneirismo científico e tecnológico, ou seja, são as invenções somente possíveis pela aplicação da descoberta de um novo fenômeno ou efeito.

Quadro 4.1 – Níveis Inventivos

Nível da Invenção (% do total)	Número Estimado de Tentativas	Posição do Problema e dos Meios de Solução	Exemplo
1 - Trivial (32%)	1 a 10	Dentro de uma área de uma profissão.	Tampa protetora para armazenagem de gases. A tampa é de plástico, com reforços internos para aumentar a resistência. Com isso, há economia de material e redução de custos.
2 - Melhoria (45%)	10 a 100	Dentro de uma área de uma indústria.	Bomba de indução eletromagnética. A bomba consiste de um corpo, um indutor e um canal. A novidade é que o indutor pode movimentar-se ao longo do eixo do canal.
3 - Novidade dentro do paradigma atual (19%)	100 a 1.000	Em uma área da ciência.	Método para remover vísceras de peixes. O método é novo porque propõe congelar as vísceras com um elemento a -5 centígrados, o qual ainda ajudará a preservar o peixe.
4 - Novidade dentro de novo paradigma (<4%)	1.000 a 10.000	Fora da área da ciência onde o problema foi originado.	Sistema evaporativo para refrigeração de motores. Os mancais são feitos de aço sinterizado, impregnado com uma substância que evapora e refrigera o motor em uso.
5 - Descoberta científica (<0,3%)	> 10.000	Fora dos limites da ciência contemporânea.	Novo método para fabricar pós metálicos. Eletrodos feitos do material a ser pulverizado são conectados num circuito oscilatório. As faíscas dispersam o material como pó.

A forma de classificar uma invenção numa categoria ou outra foi baseada nos critérios:

- número estimado de tentativas que seriam necessárias para chegar à solução, usando processos de geração livre de ideias, como o *brainstorming*;
- escopo do problema e dos meios de solução – situado dentro da área de conhecimento do inventor e do corpo de conhecimento da indústria em que atua ou em áreas remotas; e
- existência ou não de uma contradição na situação problemática original.

A classificação dos níveis inventivos carece de formalidade, mas, cumpriu o papel para a qual foi criada: permitir a limitação do número de patentes a serem analisadas e o foco do desenvolvimento da TRIZ nas patentes de níveis mais altos (3, 4 e 5).

Para Altshuller (1969), a TRIZ deveria ser utilizada para resolver problemas dos níveis 2, 3, 4 e 5. Problemas do nível 1 não necessitam ser resolvidos com o uso da TRIZ.

4.2 DEFINIÇÃO DE TRIZ

Pode-se definir TRIZ como sendo uma metodologia heurística, orientada ao ser humano e baseada em conhecimento, para a resolução de problemas inventivos. A seguir, são examinadas as partes desta definição.

O caráter heurístico da TRIZ fundamenta-se no uso de métodos estruturados para orientar a solução de problemas, buscando evitar que o solucionador de problemas precise confiar somente na intuição. Além disso, a TRIZ utiliza o enfoque de sistemas, tanto na formulação como na solução dos problemas.

A TRIZ é baseada em conhecimento porque contém heurísticas para a solução de problemas, cujas fontes originais de informações são patentes, porque faz uso de efeitos oriundos das ciências para a solução de problemas e porque se fundamenta no levantamento e utilização de conhecimentos referentes ao domínio do problema específico a ser solucionado.

A orientação ao ser humano significa que a TRIZ foi concebida para uso humano, não computacional. Embora sua base de conhecimento e os mecanismos de formulação e solução de problemas possam ser implementados computacionalmente, a competência central da TRIZ é a solução conceitual de problemas, para a qual o cérebro humano (ainda) é mais adequado que o computador.

Quanto ao aspecto resolução de problemas inventivos da definição, a TRIZ é voltada para a resolução desta classe específica de problemas – aqueles nos quais há contradições. Para Altshuller (1979), caracterizam a solução inventiva a novidade⁹, a simplicidade, o grau de idealidade e o fato de solucionar uma contradição.

Além do caráter metodológico, reconhece-se, ainda, que a TRIZ pode ser entendida como filosofia, ciência ou o estudo da excelência em todas as áreas do conhecimento humano, como sugere Mann (2002).

O que pode configurar a TRIZ como filosofia são os conceitos descritos no próximo item.

Como ciência, a TRIZ vem se desenvolvendo por meio do interesse de grupos acadêmicos na sua ampliação, organização e formalização, como se pode comprovar por meio dos anais das maiores conferências, como aquelas organizadas pela MATRIZ (Associação Internacional de TRIZ), pelo AI (*Altshuller Institute for TRIZ Studies*), pela ETRIA (*European TRIZ Association*), bem como da lista de discussão por correio eletrônico triz@topica.com.

A TRIZ como o estudo da excelência configura-se como a abstração, compilação e organização das melhores formas de resolver problemas nas diversas áreas do conhecimento humano na forma de heurísticas. Isso aconteceu, primeiro, nas áreas mais tradicionais da engenharia (os primeiros estudos de Altshuller envolveram a engenharia mecânica, civil, elétrica e química). Posteriormente, ocorreu a expansão para outras áreas do conhecimento, tais como a informática, a política, a publicidade, as artes, a pedagogia e a administração.

No nível de métodos para a geração de ideias, a TRIZ oferece uma riqueza de ferramentas sem paralelo em outras metodologias: Operador de Sistema, Operador Tempo-Tamanho-Custo, Fantograma, Modelagem com Pequenas Pessoas Espertas, Método das Partículas, Método dos Princípios Inventivos, Método da Separação, Efeitos, Análise Su-Campo, Padrões Inventivos e Tendências da Evolução são exemplos.

Nesta pesquisa, há interesse na TRIZ como um todo e, de modo especial, no uso desta metodologia para a ideação de novos produtos.

9 No domínio específico de aplicação, porque um objetivo geral da TRIZ é que não haja novidade em termos de soluções genéricas – todas elas estão ou deveriam estar no corpo de conhecimento da metodologia.

4.3 FUNDAMENTOS FILOSÓFICOS

A TRIZ tem como fundamento filosófico as leis da dialética. Na filosofia, a dialética foi definida de várias formas por diferentes filósofos. A formulação que pode ser considerada a base da TRIZ é a proposta por Engels (1883). Para Engels, dialética é ideia fundamental segundo a qual o mundo não deve ser considerado como um complexo de coisas acabadas, mas como um complexo de processos. As coisas, aparentemente estáveis, passam por uma mudança ininterrupta de evolução e decadência e, apesar de todos os insucessos aparentes e retrocessos momentâneos, um desenvolvimento progressivo acaba por acontecer.

As leis da dialética são a Lei da Unidade e da Polaridade, a Lei da Mudança Qualitativa e a Lei da Negação da Negação. Estas leis são descritas a seguir e exemplificadas no Quadro 4.2.

Unidade e Polaridade é a lei segundo a qual todos os aspectos da realidade prendem-se por laços necessários e recíprocos, ou seja, tudo se relaciona. Além disto, todas as coisas são bipolares, ou seja, têm dois aspectos opostos, os quais, ao mesmo tempo, estão unidos. Esta lei origina-se do filósofo grego Heráclito e, antes dele, da filosofia védica indiana. Os conceitos de idealidade, contradição e sistemática, descritos no próximo item, derivam desta lei.

Quadro 4.2 – As leis fundamentais da dialética e a tecnologia

Lei	Exemplo
Lei da Unidade da Polaridade	Uma mola não pode ser considerada a parte do universo que a rodeia, pois foi produzida pelo ser humano com o metal extraído da natureza. Ela está sujeita a modificações devidas à ação da gravidade, do calor, da oxidação e assim por diante.
Lei da Mudança Quantitativa (transformação das mudanças quantitativas em qualitativas)	Os aviões movidos a hélice atingiram um limite físico (barreira do som), a partir do qual somente foi possível aumento de desempenho com o aparecimento de uma nova tecnologia (a propulsão a jato).
Lei da Negação da Negação	Relógios a quartzo carregados por meio do movimento de uma massa. O princípio já havia sido utilizado anteriormente, em relógios mecânicos.

A Mudança Qualitativa origina-se dos estudos do filósofo grego Aristóteles. Na tecnologia, nota-se que graduais mudanças quantitativas, acumuladas, acabam resultando em mudanças qualitativas, como descrito pelo modelo da Curva S.

A Negação da Negação significa que todo movimento, transformação ou desenvolvimento opera-se por meio de contradições ou mediante a negação de uma coisa – tese, antítese e síntese. A negação se refere à transformação das coisas. A dialética é a negação da negação, ou seja, a síntese. A negação de uma afirmação implica negação, mas a negação da negação implica afirmação. O processo da dupla negação engendra novas coisas ou propriedades: uma nova forma que suprime e contém, ao mesmo tempo, as primitivas propriedades. Nos sistemas artificiais, esta lei manifesta-se pela reutilização de soluções que eram aplicadas no passado, sempre de uma forma um pouco diferente, com uso de novas tecnologias. Talvez os exemplos mais conhecidos em que se pode verificar esta lei estejam na indústria da moda. Na TRIZ, a resolução de uma contradição resulta numa solução que contém, ao mesmo tempo, as propriedades originalmente conflitantes no problema.

4.4 CONCEITOS FUNDAMENTAIS DA TRIZ

Os conceitos fundamentais da TRIZ, descritos a seguir, são: Idealidade, Contradição, Recursos, Sistemática e Funcionalidade.

O conceito de idealidade refere-se à observação de que os sistemas técnicos evoluem, ao longo do tempo, no sentido do aumento das funções úteis e da diminuição das funções inúteis, prejudiciais e, mesmo, das funções neutras. A ocorrência deste fato pode ser observada tanto por meio das melhorias incrementais como das inovações radicais em produtos. O aumento da idealidade pode ser exemplificado por meio do modem, que, por volta de 1985, era um componente separado dos computadores aos quais servia, montado num gabinete com volume aproximado de um litro e meio. O modem foi, gradualmente, diminuindo de volume (menor espaço ocupado, menor consumo de materiais) e transmitindo dados a velocidades cada vez maiores. Hoje, o modem é, em alguns computadores, uma placa dentro do gabinete, um único chip, ou, mesmo, assume a forma não física de software.

O aumento da idealidade dos sistemas técnicos é, também, uma das leis da evolução dos sistemas técnicos propostas por Altshuller (1979) descritas no item 5.1, a seguir.

Contradições são declarações que afirmam coisas aparentemente incompatíveis ou opostas. O conceito de contradição é uma consequência da primeira lei da dialética, a lei da unidade dos opostos. Em termos práticos, Altshuller demonstrou que as partes dos sistemas técnicos são desenvolvidas, ao longo de suas sucessivas versões, de forma não uniforme, o que provoca o surgimento de contradições. A evolução de tais sistemas envolve a superação, ou resolução de contradições. Para ilustrar este fato, no Quadro 4.3, são identificados problemas e contradições surgidos no decorrer da evolução da roda, os quais foram sendo solucionados por meio da criação de novos sistemas. Este quadro também exemplifica o processo de aumento da idealidade, porque a resolução de contradições é um dos processos por meio dos quais a idealidade é aumentada.

As contradições podem aparecer numa variedade de formas. Savransky (2000) sugere uma classificação de contradições que contém contradições técnicas, físicas, matemáticas, fundamentais, cosmológicas, individuais, administrativas e culturais. As contradições de interesse na TRIZ clássica são as técnicas e físicas.

Quadro 4.3 – Contradições na evolução da roda

Sistema Técnico	Problema ou contradição solucionado
Trenó	Força excessiva para arrasto simples das cargas.
Rolo	Força excessiva para arrasto do trenó.
A primeira roda de que se tem notícia, de madeira sólida, encaixada de forma solidária no eixo.	Redução da força conseguido com uso de trenós ou rolos, acompanhado, no caso dos rolos, pela inconveniência e falta de portabilidade.
Roda de madeira com raios.	Aumento da conveniência e da portabilidade, conflitando com peso excessivo, pelo fato de o ST consistir de peças maciças.
Roda de madeira com raios e banda de rodagem feita de couro, madeira, ferro ou aço.	Redução do peso, sendo o maior inconveniente a pequena durabilidade da banda de rodagem (feita de couro ou madeira); Durabilidade versus baixa aderência ao solo (ferro ou aço).
Roda de ferro ou aço com raios e banda de rodagem feita de couro, madeira, ferro ou aço.	Peso reduzido x pequena durabilidade da banda de rodagem (couro, madeira); Durabilidade versus baixa aderência ao solo (ferro).
Roda de aço com raios e banda de rodagem feita de borracha sólida.	Aderência ao solo conflitando com baixa velocidade máxima.
Roda de aço com raios tensionados e banda de rodagem feita de borracha sólida.	Excesso de peso, excesso de rigidez.
Roda de aço com raios tensionados e pneu entrelaçado.	Baixa tração, excesso de rigidez, baixa velocidade.
Roda com disco de aço e pneu entrelaçado.	Pequena manufaturabilidade e baixa resistência mecânica.
Roda com disco de aço e pneu radial.	Baixa resistência mecânica e atrito interno e aquecimento excessivos.
Roda com disco de aço e pneu <i>tweel</i> (da marca <i>Michelin</i>).	Baixa manobrabilidade e baixa segurança.

As contradições técnicas ocorrem quando há conflitos entre dois parâmetros, ou seja, as tentativas usuais para melhorar um deles pioram o outro. Num motor, por exemplo, há uma contradição técnica entre potência e peso: ao tentar uma melhoria de desempenho do motor, aumentando sua potência, o peso é aumentado (o que é, em geral, indesejável). De modo similar, na asa de uma aeronave, há uma contradição técnica entre resistência mecânica (que se deseja maximizar) e peso (que se deseja minimizar).

Níveis contraditórios de um mesmo parâmetro ou propriedade correspondem a contradições físicas. Na contradição física, um mesmo parâmetro ou propriedade deve ser alto e baixo, presente e ausente, grande e pequeno, etc. Considerando o exemplo da asa do avião, podem ser formuladas as seguintes contradições físicas:

- a resistência mecânica precisa ser alta (porque há a necessidade de resistir às solicitações mecânicas) e baixa (porque é preciso gastar pouco material e manter a leveza);
- o peso precisa ser alto (devido à resistência mecânica) e baixo (devido à necessidade de economizar combustível).

Savransky (2000) utiliza os termos par e ponto para referir-se às contradições técnicas e físicas, uma vez que as contradições técnicas referem-se a dois parâmetros contraditórios (um par) e as contradições físicas, a um mesmo parâmetro em níveis contraditórios (um ponto). É uma nomenclatura coerente, mas, a tradição tende a prevalecer nos textos de TRIZ.

Recursos são elementos da própria situação problemática ou do seu entorno, que podem ser mobilizados para solucionar ou contribuir para a solução de um problema. Podem ser definidos como sendo quaisquer elementos do sistema sob análise ou das cercanias que ainda não foram utilizados para a execução de funções úteis. Os recursos podem estar prontamente disponíveis para uso ou necessitar de modificações para que possam ser aproveitados.

A utilização de recursos tende a aproximar o sistema técnico do ideal. Um exemplo clássico do uso de recursos é o turbo-compressor utilizado em motores de combustão interna, que transforma parte da energia dos gases de combustão em sobre-pressão do ar alimentado. Neste caso, o recurso utilizado corresponde à energia.

Sistemática corresponde ao incentivo da TRIZ em levar o solucionador de problemas a enxergar a situação problemática e as possíveis soluções sistemicamente, dentro de um contexto que envolve tempo, espaço e interações. A ferramenta que operacionaliza isto dentro da TRIZ é o Operador de Sistema, descrita a seguir.

Funcionalidade corresponde à modelagem de elementos concretos das situações problemáticas e das soluções na forma mais abstrata de funções. Isto resulta da influência da Análise de Valor (MILES, 1961) e da Análise Função-Custo (SOBOLEV, 1987) sobre a TRIZ e reflete-se nos diagramas funcionais.

4.5 ESTRATÉGIA DA TRIZ

A estratégia da TRIZ para a solução de problemas pode ser resumida como mostrado na Ilustração 4.1. A partir de um problema específico, o solucionador de problemas utiliza as ferramentas para a análise da situação problemática e formulação de problemas para realizar a abstração e chegar a um problema genérico, livre do jargão técnico. Então, uma ou mais ferramentas para a ideação são utilizadas, de forma a chegar a soluções genéricas. Por último, a solução genérica precisa ser particularizada, ou seja, adaptada, para chegar à solução específica.

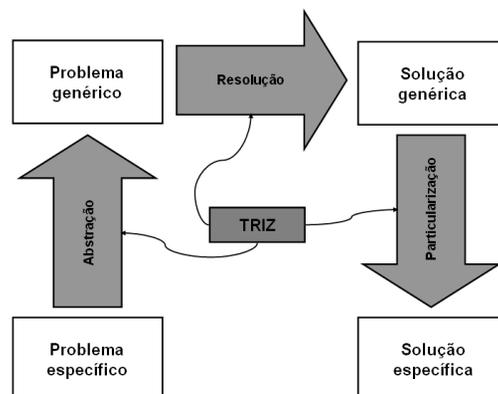


Ilustração 4.1 – Estratégia de solução de problemas da TRIZ

As ferramentas para realizar a abstração são apresentadas no próximo item e as ferramentas de ideação, para implementar a resolução e a particularização, são assunto do Capítulo 5.

4.6 FERRAMENTAS PARA A ANÁLISE DA SITUAÇÃO PROBLEMÁTICA E FORMULAÇÃO DE PROBLEMAS

A análise da situação problemática e a formulação do problema correspondem aos processos de compreender inter-relações, identificar claramente o problema a ser resolvido e levantar informações potencialmente úteis para a solução do mesmo. As principais ferramentas para a análise da situação e a formulação de problemas são o Resultado Final Ideal (RFI), os diagramas funcionais, a planilha de recursos e o operador de sistema.

A estratégia do RFI, apresentada na Ilustração 4.2, consiste em imaginar como seria a solução ideal para a tarefa a ser realizada e, se ela não for uma meta considerada atingível, recuar para uma formulação menos ideal do que a solução ideal, mas, mais ideal que a solução atual.

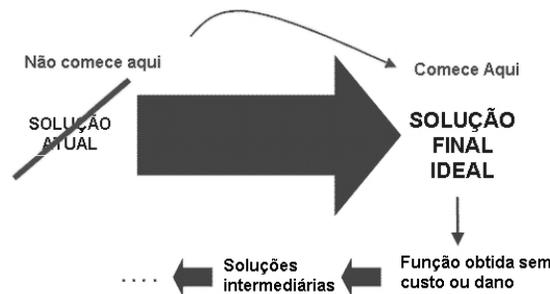


Ilustração 4.2 – Estratégia do RFI (adaptado de Mann, 2002)

Para a formulação do RFI, Mann (2002) sugere as questões apresentadas na coluna esquerda do Quadro 4.4. A coluna direita contém a formulação do RFI para a função lavar roupas, feita por profissionais de uma empresa envolvida na fabricação deste tipo de produto. É razoável supor, com base no conceito de idealidade, que, um dia, poderá haver roupas auto-limpantes. Entretanto, chegar a esta solução envolve tecnologias ainda não existentes ou não totalmente dominadas. Além disso, este RFI, embora tenha implicações muito importantes para a estratégia de longo prazo do fabricante de lavadoras de roupas, dificilmente será útil para o desenvolvimento da tecnologia a ser oferecida ao mercado num produto a ser lançado daqui a dois anos. Assim, recuando do RFI “roupas auto-limpantes”, outros RFIs mais imediatamente úteis poderiam ser “lavar roupas sem sabão”, “limpar roupas” ou “manter roupas”. Existem produtos recentemente lançados que executam as três últimas funções globais citadas.

Quadro 4.4 – RFI para a função lavar roupas

Questões	Função “lavar roupas”
1) Qual é o objetivo final do sistema?	Limpar roupas.
2) Qual é o Resultado Final Ideal?	Roupas que limpam a si mesmas.
3) O que impede que se alcance o RFI?	Indisponibilidade de roupas auto-limpantes.
4) Por que impede?	As roupas são incapazes de realizar esta função.
5) Como se pode fazer com que as coisas que impedindo que se alcance o RFI desapareçam?	Criando tecidos capazes de limpar a si mesmos.
6) Que recursos estão disponíveis para ajudar a criar as circunstâncias necessárias?	Tecido, sol, ar, guarda-roupas, usuário de roupas.
7) Alguém já foi capaz de resolver este problema?	A natureza (flor de lótus, por exemplo); fornos auto-limpantes.

O objetivo do RFI é direcionar o desenvolvimento, de forma deliberada, para o sentido do aumento da idealidade, evitando que o solucionador de problemas fique preso demais às soluções atualmente utilizadas pela própria empresa e por seus concorrentes. Neste sentido, o RFI é uma ferramenta que incentiva o estabelecimento de metas ousadas para o desenvolvimento, ao contrário, por exemplo, do QFD e do *benchmarking* de produto. Observações empíricas indicam que estas últimas ferramentas tendem a produzir o efeito de limitar a equipe de desenvolvimento àquilo que já existe na empresa em questão e na concorrência (GOLDENBERG & MAZURSKY, 2002).

Existem várias modalidades de diagramas funcionais no corpo de conhecimento da TRIZ. Exemplos relevantes são a análise de interações (*INVENTION MACHINE CORPORATION*, 1995) e o diagrama função-ligação-função (ZLOTIN & ZUSMAN, 2001). Com o uso destes diagramas, a formulação do problema é realizada em três etapas: construção do diagrama, formulação das declarações de problemas e seleção da declaração a ser utilizada. A construção do diagrama consiste em transformar o conhecimento que se tem sobre a situação problemática num modelo gráfico, que expressa causa e efeito ou interações entre componentes. A formulação das declarações de problemas é feita a partir dos modelos gráficos.

Na análise de interações, cada elemento do sistema conecta-se a outros por meio de interações (funções), como mostrado na Ilustração 4.3, para um secador de cabelos. As interações em linhas contínuas são eficazes, aquelas em linhas duplas são prejudiciais e as em linhas tracejadas são insuficientes.

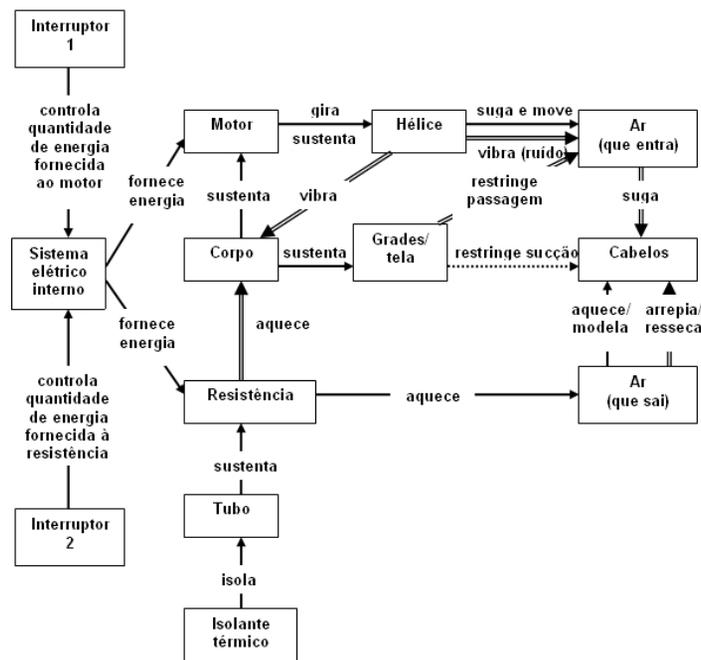


Ilustração 4.3 – Análise de interações para secador de cabelos

Os principais problemas estão associados às interações prejudiciais – em especial, àquelas relacionadas com a função principal do sistema, como é o caso de arrepiar e ressecar cabelos. Num trabalho de aprimoramento¹⁰, poderia ser considerada, ainda, a possibilidade

¹⁰ Aprimoramento é uma tradução do termo *trimming* e significa eliminar funções não essenciais de um sistema técnico, de modo a simplificá-lo e reduzir seu custo.

de eliminar funções que são eficazes, porém, de importância secundária, uma vez que elas não contribuem diretamente para a realização das funções principais do sistema.

O diagrama função-ligação-função (ZLOTIN & ZUSMAN, 2001) consiste numa análise funcional do sistema que considera, além das funções, as relações de causa e efeito entre as funções, que podem dar-se conforme a legenda apresentada no Quadro 4.5.

Quadro 4.5 – Tipos de relações de causa e efeito no diagrama função-ligação-função

Imagem	Tipo	Nome	Exemplo verbal de utilização	Exemplo gráfico de utilização
→	Útil	Produz	Função útil produz outra função útil	
→	Útil	Compensa / influencia	Função útil compensa função prejudicial	
→	Prejudicial	Produz	Função útil (ou função prejudicial) produz função prejudicial	
⇒	Prejudicial	Compensa / influencia	Função útil (ou função prejudicial) compensa função útil	

Um exemplo de análise de causa e efeito com uso de um diagrama função-ligação-função, é apresentado na Ilustração 4.3. Para este caso (BOGÉA *et al.*, 2005), também referente a um secador de cabelos, foram geradas 13 formulações de problemas referentes às funções úteis, 11 referentes às funções indesejadas e 9 contradições. Este tipo de análise tende a resultar numa análise mais completa do problema, em comparação com a análise de interações. Por outro lado, tende a ser menos intuitiva e muito mais demorada do que aquela feita com o diagrama de interações.

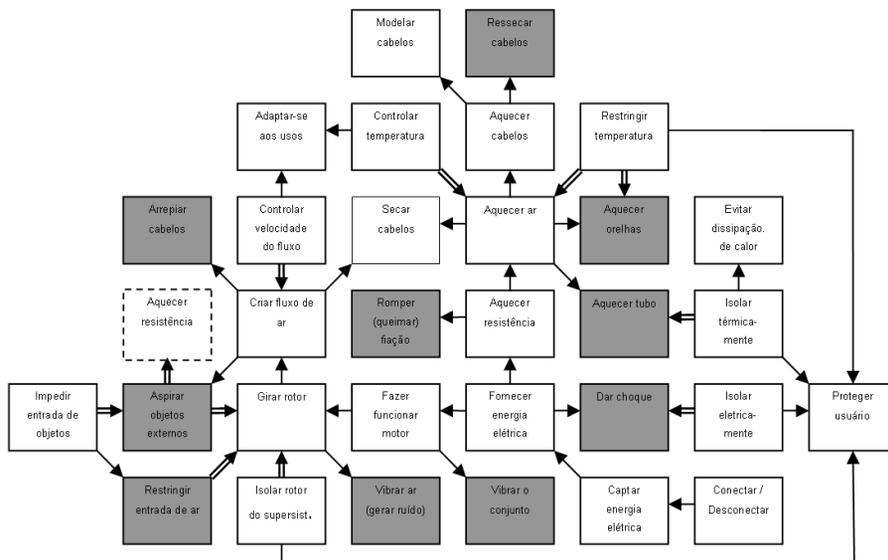


Ilustração 4.4 – Diagrama função-ligação-função para um secador de cabelos

A ferramenta planilha de recursos é apresentada no Quadro 4.6. As primeiras duas colunas do quadro servem para orientar o formulador de problemas a identificar, numa terceira coluna (não incluída neste quadro), recursos disponíveis no sistema analisado ou em seu entorno com potencial para uso na solução do problema. Por vezes, um problema pode ser resolvido diretamente, a partir da identificação de recursos.

Um uso alternativo para a planilha de recursos pode ocorrer na análise da causa raiz. Considerando que seja necessário descobrir a causa de uma trinca numa barra de aço, um analista pode utilizar a planilha para mapear os recursos que, sozinhos ou em combinação com outros recursos, poderiam ter causado ou contribuído para provocar o aparecimento da trinca. As suspeitas levantadas desta forma precisam ser confirmadas por meio de experimentação.

Quadro 4.6 – Formulário para a identificação de recursos

Tipo de recurso	Aspectos a observar
Substância	Resíduos, ar, aditivos, matéria-prima, subprodutos, elementos do sistema, elementos próximos do sistema, substância abundante, substância barata, fluxo de substância, substâncias modificadas.
Energia	Energia no sistema ou ambiente, energia gravitacional, energia magnética, transformações das energias disponíveis, energia dissipada.
Espaço	Espaços vazios, porosidades, dimensões não utilizadas, arranjos físicos não utilizados.
Campo	Campos prontamente disponíveis, transformação de campo, intensificação de campo.
Tempo	Tempo preliminar a operações, tempo de operação não dependente, pausas, tempo posterior a operações.
Informação	Propriedades inerentes, informação em movimento ou transiente, informações sobre mudanças de estado.
Função	Funções atualmente não realizadas, transformação de funções indesejáveis, utilização de efeitos suplementares.

O Operador de Sistema é a ferramenta que operacionaliza de forma mais direta o conceito de sistemática (Quadro 4.7). No Operador de Sistema, as linhas representam o supersistema, o sistema e o subsistema e as colunas, o passado, o presente e o futuro do sistema analisado. O preenchimento desta matriz inicia-se pelo centro (sistema no presente) e prossegue, primeiro na coluna “presente” e, depois, pelas colunas “passado” e “futuro”. A finalidade é conduzir o usuário a considerar a situação problemática como um sistema de problemas e, portanto, a criar uma visão ampliada do problema original. O exemplo apresentado refere-se a um apagador, do tipo usado em salas de aula com quadros negros. Outras colunas “futuro” poderiam ser adicionadas, no sentido de analisar alternativas para a transmissão de informações numa aula que estão surgindo, tais como *scanners*, lousas eletrônicas e outros.

Quadro 4.7 – Operador de Sistema para um apagador

	Passado	Presente	Futuro
Supersistema	Caverna Sistema educacional, soluções para transmitir informações, arte.	Sala de aula (carteiras, quadro, iluminação, rede elétrica), escola. Sistema educacional, soluções para transmitir informações.	Sala de aula (carteiras, quadro, iluminação, rede elétrica), escola. Sistema educacional, soluções para transmitir informações.
Sistema	Pele animal Função principal: remover marcas de carvão. Funções secundárias: espalhar pó de carvão, borrar.	Apagador (de quadro negro) Função principal: remover marcas de giz. Funções secundárias: espalhar pó, borrar.	Apagador (de quadro branco) Função principal: remover marcas. Funções secundárias: mudar resíduo de lugar, borrar.
Subsistema	Couro, pelos.	Pegador, feltro ou espuma, adesivo.	Pegador, feltro ou espuma, adesivo.

4.7 FERRAMENTAS PARA A ATIVAÇÃO DA IMAGINAÇÃO

As ferramentas para a ativação da imaginação foram criadas para combater aquilo que Altshuller (1969) denominou inércia psicológica, ou seja, a dificuldade de chegar a ideias que desafiam os padrões de pensamento aos quais as pessoas estão condicionadas por sua herança cultural¹¹. A seguir, são apresentadas as duas ferramentas para a ativação da imaginação mais conhecidas: o operador TTC (tamanho-tempo-custo) e o fantograma.

O operador TTC consiste em se procurar imaginar como seria a situação caso o tamanho, o tempo e o custo fossem extremamente pequenos ou grandes (ALTSULLER, 1969). Um exemplo de como o operador poderia ser aplicado caso o objeto de análise fosse uma cafeteira é apresentado no Quadro 4.8. Observa-se a eficácia da ferramenta em conduzir o solucionador de problemas a considerar situações fora do convencional. Algumas delas poderiam ser: 1) café instantâneo (vendido pronto e enlatado, por exemplo, como recentemente começou a surgir nas gôndolas dos supermercados); 2) café envelhecido em barris de carvalho, safra 2006; 4) fábrica de café.

Quadro 4.8 – Operador TTC aplicado a uma cafeteira

	Tempo	Tamanho	Custo
Muito pequeno	1) O café precisa ficar pronto em um minuto, um segundo ou um centésimo de segundo. O que pode ser feito para conseguir isso? Quais as implicações?	3) O espaço disponível para a cafeteira é de 1 centímetro, um milímetro ou um nanômetro quadrado. O que pode ser feito para conseguir isso? Quais as implicações?	5) O custo máximo para a cafeteira é de 1 real ou de 1 centavo. O que pode ser feito para conseguir isso? Quais as implicações?
Muito grande	2) O café pode levar 10 anos, 100 ou 1000 anos para ficar pronto. O que pode ser feito para conseguir isso? Quais as implicações?	4) O espaço disponível para a cafeteira é de 1 quilômetro, 100 quilômetros, ou 1000 quilômetros quadrados. O que pode ser feito para conseguir isso? Quais as implicações?	6) O custo mínimo para a cafeteira é de 100.000, ou 3 milhões de reais. O que pode ser feito para conseguir isso? Quais as implicações?

11 Existem pelo menos dois tipos de inércia psicológica: a primária, que impede que se chegue a uma ideia criativa e a secundária, que impede, após se ter chegado a uma tal ideia, que se obtenha outras ideias criativas.

Altshuller tinha interesse por ficção científica e era, ele próprio, um autor do gênero na antiga URSS. O fantograma é uma ferramenta resultante deste interesse e foi obtida, da mesma forma que outras ferramentas da TRIZ, a partir do estudo de uma grande quantidade de produtos criativos relevantes (neste caso, não patentes, mas, obras de ficção científica). A partir do estudo das obras e generalização das ideias nelas contidas, Altshuller & Vertkin (1994) chegaram ao fantograma, apresentado no Quadro 4.9.

Nas linhas do fantograma, são listadas possíveis mudanças num objeto e, nas colunas, as características a serem modificadas. O objetivo é estimular a imaginação, por meio da aplicação das mudanças às características.

Quadro 4.9 – Fantograma (adaptado de Altshuller & Vertkin, 1994)

Mudança	Característica do objeto											
	Estado físico	Consistência	O próprio objeto	Subsistema	Supersistema	Linha de desenvolvimento	Reprodução ou regeneração	Alimentação de energia	Forma de movimento	Objetivo, razão de ser	Área ocupada	Controle
Aumentar												
Diminuir												
Unir												
Separar												
Decompor												
Inverter propriedade												
Acelerar												
Desacelerar												
Mover para o passado ou futuro												
Fazer propr. constante ou variável												
Separar função do objeto												
Mudar o ambiente ou a interface												

Dentre o conteúdo abordado neste capítulo, são utilizados, na metodologia IDEATRIZ, a abordagem da analogia, os conceitos fundamentais, as ferramentas para a análise da situação problemática e formulação de problemas e as ferramentas para a ativação da imaginação.

A analogia aparece, na TRIZ, como a reutilização do conhecimento aplicado na solução de problemas passados. Isto não é uma característica única da TRIZ, uma vez que o método *synectics* e o método da analogia sistemática, abordados no Capítulo 3, também estimulam o usuário a importar soluções de outros domínios para o domínio do problema. Entretanto, a TRIZ aperfeiçoou e organizou o processo de analogia a um nível sem paralelo em outras metodologias e métodos.

Quanto aos conceitos fundamentais, os mesmos permeiam a metodologia IDEATRIZ e são utilizados em todas as suas fases.

No que se refere às ferramentas para a análise da situação problemática e para a ativação da imaginação, a utilização pode ocorrer na terceira fase, “Formular e resolver contradições”, como visto mais adiante.

No próximo capítulo, o último da fundamentação teórica deste trabalho, são tratadas as ferramentas da TRIZ para a geração de ideias.