



São Paulo - Brazil - May - 22<sup>nd</sup> to 24<sup>th</sup> - 2013

# Acc4<sup>th</sup>emic INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION

“INTEGRATING CLEANER PRODUCTION INTO SUSTAINABILITY STRATEGIES”

## Aplicação da Teoria da Solução Inventiva de Problemas como Método de Produção mais Limpa na Proposta de Otimização de Aquecedores Solares

POSSEBON, F.<sup>a</sup>, KUBOTA, F.I.<sup>b\*</sup>, SANTOR, C.G.<sup>c</sup>, ROSA, L.C.<sup>a</sup>

a. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Rio Grande de Sul

b. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Santa Catarina

c. Faculdades Alternativas Santo Augusto (FAISA)

\*Corresponding author, [flavioissao.kubota@gmail.com](mailto:flavioissao.kubota@gmail.com)

### Resumo

A crescente preocupação mundial em minimizar os impactos ambientais negativos em produtos, processos e serviços industriais e comerciais tem gerado a necessidade de estudos cada vez mais aprofundados relacionados à tecnologias limpas e fontes de energias renováveis. Nesse contexto, este trabalho aplicou a Teoria da Solução Inventiva de Problemas (TRIZ) como método suporte de identificação e geração de oportunidades de produção mais limpa, visando contribuir para o desenvolvimento de aquecedores solares mais eficientes e inovadores. Para isso, foi conduzido um estudo de caso em uma empresa fabricante de sistemas de aquecimento solar, utilizando-se dos conceitos fundamentais e da matriz de contradições da TRIZ como técnicas de coleta e análise dos dados. Os resultados apresentam a posterior formulação de propostas de solução inventiva, a partir das informações obtidas, para minimizar as funções indesejadas encontradas no sistema técnico estudado. Conclui-se que a TRIZ tem potencial contribuição para o processo criativo de novos sistemas de aquecimento solar.

**Palavras-chave:** Teoria da Solução Inventiva de Problemas, conceitos fundamentais, matriz de contradições, produção mais limpa, aquecedores solares.

### 1. Introdução

Com o avanço da crise energética no Brasil, o aquecimento global e a preocupação mundial em reduzir as emissões de gás carbônico, torna-se mais evidente a necessidade de incentivo ao desenvolvimento de tecnologias limpas e novas fontes de energias renováveis complementares à geração hidrelétrica atual. Busca-se, dessa forma, inovar os sistemas para garantir os níveis de fornecimento de energia necessários ao crescimento populacional com menor impacto ambiental possível, já que uma das grandes preocupações são a futura escassez dos combustíveis fósseis e os problemas ambientais provocados pelas tradicionais fontes de energia vigentes.

Nesse sentido, a metodologia da produção mais limpa abre caminho para as tecnologias limpas que buscam a adoção de recursos naturais visando à redução de resíduos e, conseqüentemente, impactos ao meio ambiente. No entendimento de Özbay e Demirer (2007), a adoção da produção mais limpa contribui com a minimização do impacto dos processos produtivos no meio ambiente, além de oferecer

“INTEGRATING CLEANER PRODUCTION INTO SUSTAINABILITY STRATEGIES”

São Paulo - Brazil - May 22<sup>nd</sup> to 24<sup>th</sup> - 2013

novas oportunidades de otimização dos negócios e redução de custos, incrementando os resultados econômicos das organizações que a aplicam em seus produtos, processos e serviços.

Dentro desse contexto, a energia solar térmica para aquecimento de água tem-se mostrado como solução técnica, ambiental e economicamente viável para os problemas de redução do consumo de energia elétrica no setor residencial brasileiro (RBCAS, 2005). De acordo com a Sol Brasil (2011), em 2010 a produção brasileira de coletores solares cresceu 21,1% em relação ao ano anterior, conforme pesquisa realizada pelo Departamento de Aquecimento Solar (DASOL) da Associação Brasileira de Refrigeração Ar Condicionado e Ventilação (ABRVA) e junto às empresas associadas. Foram produzidos 967 mil m<sup>2</sup> de placas coletoras, o maior volume anual já registrado.

O crescimento da produção é resultado do fortalecimento das ações de eficiência energética e da utilização de fontes limpas de energia. Segundo o Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEE) de 2011, é importante incentivar um programa de desenvolvimento de tecnologias mais eficientes e inovadoras, bem como a sua compatibilização com a tecnologia de aquecimento solar, trazendo como benefício a redução da demanda e consumo de energia elétrica (PNEE, 2011).

Embora esses equipamentos sejam efetivamente geradores de energia limpa sem qualquer prejuízo para o ambiente, a sua construção pode demandar o uso de materiais que gerem elevados impactos ambientais no processo produtivo. As preocupações ambientais e econômicas estimularam o *design* de novos materiais nos mais diversos ramos, e são especialmente atraentes os materiais, em que uma boa parte é baseada em recursos naturais renováveis, evitando novas pressões sobre o meio ambiente (ALVES, 2010).

Assim, a energia solar vem ganhando mercado por se tratar de uma fonte renovável, não poluente e gratuita. Quanto à produção dos componentes de sistemas solares, as empresas do ramo vêm inovando constantemente, a fim de oferecer ao mercado produtos com maior qualidade, durabilidade e melhor rendimento, além da preocupação ambiental em torno do processo produtivo, uso e descarte destes produtos, visando reduzir o impacto ambiental (SANTOR, 2012).

Diante desse contexto, esta pesquisa objetivou utilizar a Teoria de Solução Inventiva de Problemas (TRIZ) como ferramenta suporte na resolução de problemas relativos aos sistemas de aquecimento solar atuais, servindo como estratégia inovadora na busca de soluções criativas para os problemas técnicos relacionados à perda de calor durante o processo de aquecimento da água. Desse modo, o trabalho é apresentado da seguinte forma, posterior a esta introdução: na seção 2, é apresentado um breve referencial teórico acerca da TRIZ, seguido da seção 3, onde o método de pesquisa é relatado, juntamente com os conceitos fundamentais da TRIZ que balizaram a condução desse método. Posteriormente, na seção 4, os resultados gerados a partir da aplicação do método são expostos. Por fim, na seção 5, as conclusões e oportunidades de estudos futuros são apresentadas.

## **2. Teoria de solução inventiva de inventiva de problemas (TRIZ)**

Genrich Saulovich Altshuller foi o criador da TRIZ (sigla russa para *Teoriya Resheniya Izobreatatelskikh Zadatch*, que pode ser traduzida por: Teoria de Solução Inventiva de Problemas). Em 1946, Altshuller iniciou seus estudos sobre patentes antigas da União Soviética com o objetivo de buscar alternativas mais eficazes para soluções criativas e inventivas de problemas. A partir da análise das patentes, foram encontradas certas regularidades, a partir das quais foram definidos princípios, leis e uma teoria para a solução de problemas, a TRIZ (BACK *et al.*, 2008; CARVALHO; BACK, 2001).

Altshuller também estudou a evolução das patentes no decorrer do tempo, ele encontrou oito padrões de evolução que se repetem em múltiplas áreas de conhecimento (FRESNER *et al.*, 2010):

- 1) Evolução inteligente dos sistemas: os sistemas evoluem em passos discretos;

- 2) Aumentar idealidade: sistemas evoluem em direção à idealidade, caracterizada pelo fornecimento da função técnica, sem causar efeitos nocivos (em termos de esforço, consumo – excessivo – de recursos, etc.);
- 3) Diferente evolução dos elementos do sistema: os elementos do sistema evoluem em diferentes níveis;
- 4) Aumento na dinâmica e controle: os sistemas são dinamizados, o controle sobre a evolução aumenta;
- 5) Aumento da complexidade e posterior diminuição: a complexidade de um sistema aumenta e diminui novamente, depois de atingir certo nível de complexidade;
- 6) Aumento da coordenação: o ritmo dos diferentes elementos de um sistema técnico se torna cada vez mais coordenado;
- 7) Miniaturização: o sistema e seus elementos tendem a se tornar miniaturizados;
- 8) Diminuição na interação humana: a interação humana com o sistema diminui à medida que o mesmo evolui.

Para Stratton e Mann (2003) a metodologia TRIZ afirma que os problemas inventivos podem ser codificados, classificados e resolvidos metodicamente, assim como qualquer outro problema de engenharia a ser solucionado. Nesse sentido, para o processo de resolução de problemas, é importante o entendimento dos conceitos fundamentais da TRIZ, os quais são: idealidade, contradição e recursos. Na TRIZ usa-se a idealidade como ponto de partida para a resolução de problemas, para evitar ao máximo a tentativa e erro, para isso deve-se definir o resultado final ideal (RFI), como sendo uma solução a qual se pretende chegar. Idealidade em um sistema técnico (ST) é a razão entre o número de funções desejadas e o número de funções indesejadas que o sistema executa. O próprio sistema técnico é entendido como o “preço” pago pela execução de funções desejadas por seus usuários (CARVALHO; BACK, 2001).

A TRIZ também trabalha com a análise de contradições, em sua metodologia. Genrich Altshuler descobriu que, na verdade, o processo de inventar significa localizar contradições em um sistema, que impedem sua execução em busca da idealidade (LI, 2004; CARVALHO *et al.*, 2005; SCYOC, 2008; FRESNER *et al.*, 2010), e resolvê-las. Nesse sentido, contradições são requisitos conflitantes com relação a um mesmo ST – a melhora de um requisito causa a piora de outro (CARVALHO; BACK, 2001; CARVALHO; HATAKEYAMA, 2003). Além disso, como a identificação e solução de contradições é uma das leis do desenvolvimento dos ST (definido por Altshuller) a análise de contradições tende a direcionar o desenvolvimento para uma linha mais próxima do ideal. As contradições existentes no problema original devem ser traduzidas em termos de um primeiro parâmetro de engenharia, a qual se deseja melhorar e de um segundo, que é piorado em função da melhora do primeiro (CARVALHO; BACK, 2001).

E os recursos, por fim, podem ser definidos como quaisquer elementos do sistema ou dos arredores que ainda não foram utilizados para realizar funções úteis do sistema. Existem casos em que recursos não aproveitados levam a soluções inventivas (CARVALHO; BACK, 2001).

Nesse contexto, percebeu-se que um número reduzido de trabalhos (ver KUBOTA; ROSA, 2012a; KUBOTA; ROSA, 2012b; YANG; CHEN, 2011; FRESNER *et al.*, 2010; SRINIVASAN; KRASLAWSKI, 2006; LI *et al.*, 2003; LI *et al.*, 2001) tem abordado a TRIZ, bem como seus conceitos fundamentais e ferramentas, como método de auxílio de geração de oportunidades de produção mais limpa, sendo esse tópico pouco abordado na literatura vigente. Dessa forma, os conceitos fundamentais, especialmente o de contradições (por meio da matriz de contradições), foram utilizados no método de pesquisa deste estudo, o qual será apresentado na próxima seção.

### 3. Métodos

Inicialmente, foi desenvolvida uma pesquisa teórico-conceitual (conforme CAUCHICK MIGUEL, 2010), visando à geração de novos conceitos que contribuam para a metodologia de produção mais limpa, utilizando-se os conceitos fundamentais da TRIZ, conforme relatados no referencial teórico deste estudo. Assim, com o intuito de atender ao objetivo proposto, utilizou-se o Método dos Princípios Inventivos (MPI), método mais difundido da TRIZ, idealizado por Altshuller, para a solução inventiva de problemas (BACK *et al.*, 2008). Conforme os mesmos autores, essa metodologia é baseada nos princípios inventivos (PIs), que são heurísticas, ou sugestões de possíveis soluções para um determinado problema e tais princípios foram obtidos a partir da generalização e agrupamento de soluções repetidamente utilizadas na criação, desenvolvimento e melhoria de ST de diferentes áreas.

A Figura 1 ilustra os 40 princípios inventivos elaborados por Altshuller. Para o uso do MPI, também é relevante o conhecimento acerca dos parâmetros de engenharia. Esses parâmetros 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, a qual se deseja melhorar e de um segundo, que é piorado em função da melhora do primeiro. A Figura 2 ilustra os 39 parâmetros de engenharia mencionados anteriormente.

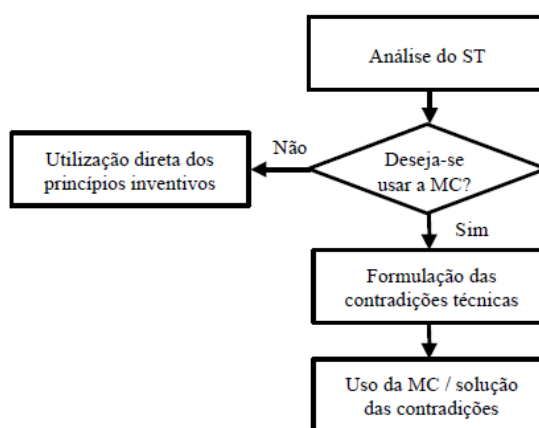
<b>40 Princípios Inventivos - Genrich Altshuller</b>			
<b>Nº</b>	<b>Parâmetros de Engenharia</b>	<b>Nº</b>	<b>Parâmetros de Engenharia</b>
1	Segmentação, fragmentação	21	Travessia rápida
2	Extração, remoção	22	Conversão de danos em benefícios
3	Qualidade local	23	Retroalimentação
4	Assimetria	24	Mediação
5	Combinação	25	Auto-serviço
6	Universalidade	26	Cópia
7	Aninhamento	27	Uso de objeto barato e de vida curta
8	Contrapesos	28	Substituição de meios mecânicos
9	Contra-atuação preliminar	29	Uso de pneumática e hidráulica
10	Ação prévia	30	Uso de filmes e membranas flexíveis
11	Atenuações prévias	31	Uso de materiais porosos
12	Equipotencialidade	32	Mudança de cor
13	Inversão	33	Homogeneidade
14	Esferoidicidade	34	Descarte e recuperação de partes
15	Dinamicidade	35	Mudança de parâmetros e propriedades
16	Ação parcial ou excessiva	36	Mudança de fase
17	Movimento para nova dimensão	37	Expansão térmica
18	Uso de vibrações mecânicas	38	Uso de oxidantes fortes
19	Ação periódica	39	Uso de atmosferas inertes
20	Continuidade da ação útil	40	Uso de materiais compostos

**Fig. 1** – Princípios Inventivos desenvolvidos por Altshuller (BACK *et al.*, 2008).

39 Parâmetros de Engenharia - Genrich Altshuller			
Nº	Parâmetros de Engenharia	Nº	Parâmetros de Engenharia
1	Peso do objeto em movimento	21	Potência
2	Peso do objeto em repouso	22	Perda de energia
3	Comprimento do objeto em movimento	23	Perda de substância
4	Comprimento do objeto em repouso	24	Perda de informação
5	Área do objeto em movimento	25	Perda de tempo
6	Área do objeto em repouso	26	Quantidade de substância
7	Volume do objeto em movimento	27	Confiabilidade
8	Volume do objeto em repouso	28	Precisão de medição
9	Velocidade	29	Precisão de fabricação
10	Força	30	Fatores indesejados atuando no objeto
11	Tensão, pressão	31	Efeitos colaterais indesejados
12	Forma	32	Manufaturabilidade
13	Estabilidade do objeto	33	Conveniência de uso
14	Resistência	34	Mantenabilidade
15	Durabilidade do objeto em movimento	35	Adaptabilidade
16	Durabilidade do objeto em repouso	36	Complexidade do objeto
17	Temperatura	37	Complexidade de controle
18	Brilho	38	Nível de automação
19	Energia gasta pelo objeto em movimento	39	Produtividade
20	Energia gasta pelo objeto em repouso		

**Fig. 2** – Parâmetros de Engenharia de Altshuller (BACK *et al.*, 2008).

Ainda, conforme Carvalho e Back (2001), há duas formas para utilização desses princípios, uma delas, a mais simples é o uso direto desses PIs e tentativa de aplicá-los para a melhoria do ST, a segunda forma 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 PIs com maior potencial e sua aplicação. A Figura 3 apresenta o fluxograma para o uso dos conceitos fundamentais e do MPI.



**Fig.3** – Fluxograma para o uso dos conceitos fundamentais da TRIZ e do MPI (CARVALHO; BACK, 2001).

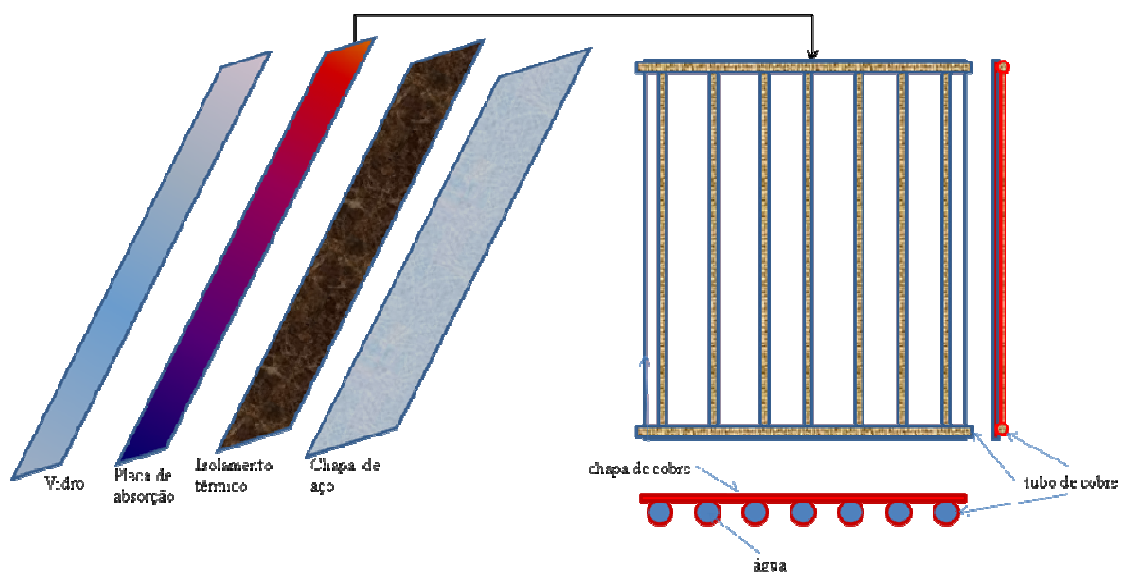
Por fim, antes de utilizar o MPI para o desenvolvimento de propostas de soluções inventivas para sistemas de aquecimento solar, um teste-piloto do método foi conduzido em outros produtos de menor complexidade, tais como panela de pressão, garrafa térmica, ferro de passar roupas e esponja de aço

para limpar louças, com o objetivo de exercitar e compreender como deve ser utilizado o MPI. Após esse teste-piloto a coleta de dados ocorreu em uma empresa especializada na fabricação, montagem e comercialização de sistemas de aquecimento solar para residências, piscinas, edifícios entre outros estabelecimentos comerciais. Depois de compreendido o sistema de produção da organização, bem como seu portfólio de produtos, foi possível coletar os dados necessários para posterior análise e desenvolvimento do MPI. Os resultados preliminares dessa aplicação são apresentados na seção subsequente.

#### 4. Resultados e discussão

Inicialmente, foi identificado o sistema de aquecimento solar como o sistema técnico, apresentando como principal função o aquecimento de água através da energia solar absorvida e armazenada por placas coletoras, tendo como principais elementos: Caixa externa, que apresenta como função suportar todo o conjunto do coletor; Isolamento térmico, que reduz/minimiza as perdas de calor; Tubos (flauta/calhas) superior e inferior, encarregados de transportar a água; Placa de absorção (aletas) de calor; Cobertura transparente que permite a passagem de radiação solar e; a Vedação responsável por isolar o sistema da umidade externa.

O funcionamento do aquecimento da água por radiação solar em um coletor solar inicia com a sua passagem nos tubos, onde a água escoar para o interior da placa absorvedora, que é responsável pela absorção e transferência da energia solar para o fluido de trabalho. São feitas de alumínio e são pintadas em preto-fosco ou recebem tratamento especial para melhorar a absorção. Para minimizar as perdas de calor para o meio, reveste-se internamente a caixa externa com lã de vidro ou de rocha, ou espuma de poliuretano, obtendo-se um isolamento térmico. A cobertura transparente, geralmente de vidro, permite a passagem de radiação solar e minimiza a perda de calor por convecção e radiação para o meio ambiente. Para melhor compreensão, a Figura 4 ilustra a estrutura de um coletor solar.



**Fig. 4** – Estrutura de um coletor solar (SANTOR, 2012, p. 31).

O sistema de aquecimento solar apresenta como recursos (conforme CARVALHO, 2007):

- I. Recursos de substância: placa absorvedora, isolamento térmico, cobertura transparente, tubos, água;
- II. Recursos de energia: energia solar;
- III. Recursos de espaço: interior da placa absorvedora, espaço ocupado pelo coletor solar;

- IV. Recursos do campo: gravitacional, pressão;
- V. Recursos de tempo: tempo de aquecimento da água;
- VI. Recursos de informações: expansão da placa absorvedora, ruptura da cobertura transparente;
- VII. Recursos de função: transformar energia solar em calor para aquecimento de fluido de trabalho.

Por meio da pesquisa, foi identificada como característica desejada diminuir a perda de temperatura do sistema de aquecimento solar. Assim, o resultado final ideal (RFI) elaborado a partir dessa característica desejada e de idealidade é um sistema que aquecimento solar mais eficiente, a partir da diminuição da perda de temperatura que ocorre durante o processo de aquecimento da água.

Após a análise do Sistema Técnico, decidiu-se pelo uso da Matriz de Contradições. Tal decisão foi tomada, pois a melhoria da característica desejada ou a eliminação da característica indesejada identificada não pôde ser obtida sem causar problemas adicionais no sistema. Com isso, foram elaboradas as contradições técnicas para o problema dos coletores solares, por intermédio da identificação da característica indesejada a ser reduzida, eliminada ou neutralizada, caracterizada pela ineficiência do isolamento térmico e/ou cobertura transparente dos atuais sistemas de aquecimento solar.

Nesse sentido, são apresentadas como soluções convencionais para reduzir, eliminar ou neutralizar a característica indesejada, a troca de material utilizado para o isolamento térmico e/ou cobertura transparente, aumentar a quantidade de material utilizado para esses fins, ou ainda, modificar a forma do sistema. Porém, o uso dessas soluções convencionais podem piorar algumas características presentes no sistema. Dentre elas podemos citar o aumento da complexidade do ST e a diminuição da durabilidade do ST, além da perda de eficiência do ST devido à alteração de propriedades dos materiais adotados.

Com a característica indesejada identificada, as possíveis soluções convencionais apresentadas e as características que poderão ser pioradas como o uso dessas soluções, as contradições técnicas foram formuladas:

- a) Se a perda de energia for reduzida ou neutralizada através das soluções convencionais já mencionadas anteriormente, a complexidade do ST pode ser aumentada;
- b) Se a perda de energia for reduzida ou neutralizada através das soluções convencionais já mencionadas anteriormente, a durabilidade do material do ST pode ser reduzida.

Após a formulação das contradições técnicas, passou-se à modelagem das mesmas em termos de parâmetros de engenharia:

- a) Parâmetro nº 17 (temperatura) x Parâmetro nº36 (complexidade do objeto);
- b) Parâmetro nº 17 (temperatura) x Parâmetro nº16 (duração da ação do objeto em parado).

Em seguida, a matriz de contradições foi utilizada para identificar os princípios inventivos. A matriz de contradição apresenta como entradas, 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 (mais detalhes ver em BACK *et al.*, 2008).

Para as contradições encontradas no presente estudo, a matriz de contradições sugere para os parâmetros contraditórios 17 (temperatura) e 36 (complexidade do objeto) os PIs 2 (Extração), 16 (Ação parcial) e 17 (Transição para nova dimensão). Enquanto isso, para os parâmetros contraditórios

17 (temperatura) e 16 (duração da ação do objeto em repouso) os PIs sugeridos foram, 19 (Ação periódica), 18 (Vibração mecânica), 36 (Mudança de fase) e 40 (Uso de materiais compostos).

Assim, chegou-se ao exercício do pensamento inventivo, onde surgiram possíveis soluções por meio da aplicação dos princípios inventivos sugeridos pela MC. Para o primeiro princípio proposto a partir do cruzamento dos parâmetros, o PI 2 (Extração), sugere-se remover a parte ou propriedade indesejada, ou separar a parte desejado do objeto. Pensando no sistema de aquecimento solar, o que não se deseja é a perda de temperatura pelo isolante térmico e/ou cobertura transparente, isso poderia ser implementado, por exemplo, pela substituição da forma convencional, utilizando materiais orgânicos, esponjas naturais, concreto ou argila expandida, géis, isolamento a vácuo, lentes Fresnel, acrílico ou vidro fume.

Para o PI 17 (Transição para nova dimensão), recomenda utilizar outra dimensão até agora utilizada, ideia obtida é fazer com que a placa acompanhe o movimento do sol, ou se movimentar como as folhas de uma árvore acompanham o movimento do sol para a fotossíntese.

E por último, uma possibilidade de aproveitar o PI 40 (Materiais compósitos) para solucionar o problema é adicionar uma substância isolante ou que absorva a temperatura, já sugeridas no PI 2. Na Figura 5, apresentam-se, resumidamente, os princípios inventivos considerados a partir da matriz de contradições com as respectivas propostas de intervenção no sistema técnico estudado (sistema de aquecimento solar).

Resultados indesejados: conflitos	16 - Duração da ação do objeto em repouso	36 - Complexidade do objeto
Características a serem melhoradas		
17 - Temperatura	2, 16, 17	19, 18, 36, 40
<b>Propostas de solução inventiva para cada princípio inventivo sugerido pela Matriz de Contradições:</b>		
Princípio inventivo	Proposta de solução	
2 - Extração	No sistema de aquecimento solar, o que não se deseja é a perda de temperatura pelo isolante térmico e/ou cobertura transparente. Propõe-se a substituição do isolante convencional, utilizando materiais orgânicos, esponjas naturais, concreto ou argila expandida, géis, isolamento a vácuo, lentes Fresnel, acrílico, vidro fume.	
16 - Ação parcial	Redimensionar componentes do sistema técnico, visando à redução de custos e de matéria-prima na fabricação das partes obtendo-se parâmetros de eficiência e eficácia dos sistemas de aquecimento solar produzidos próximos do projeto original.	
17 - Transição para nova dimensão	Utilizar outra dimensão ainda não aplicada. Fazer com que a placa acompanhe o movimento do sol, ou movimentar-se análoga às folhas de uma árvore acompanham o movimento do sol para a fotossíntese.	
18 - Vibração mecânica	Não foi possível desenvolver proposta de solução	
19 - Ação periódica	Não foi possível desenvolver proposta de solução	
36 - Mudança de fase	Utilizar materiais e/ou componentes que aumentem a intensidade de mudança de fase, visando aumentar a eficiência no aquecimento do fluido de trabalho (no caso específico, a água).	
40 - Uso de materiais compostos	Adicionar uma substância isolante ou que absorva a temperatura, conforme sugerido no PI 2 (Extração).	

**Fig. 5** – Princípios inventivos e respectivas propostas de solução.

## 5. Conclusões

Este trabalho teve como objetivo principal a aplicação dos conceitos da TRIZ como ferramenta de suporte na elaboração de propostas preliminares relativas aos sistemas de aquecimento solar atuais, visando à geração de soluções criativas e mais eficientes e eficazes nessa área, uma vez que há a



crescente necessidade da melhoria contínua e sustentável nos produtos e processos das organizações. Ainda, ressalta-se que esse trabalho é parte de uma pesquisa em andamento nesta linha, o que denota em limitações as quais serão relatadas a seguir, juntamente com as conclusões preliminares extraídas a partir deste trabalho.

Primeiramente, foi observado que a TRIZ de fato auxilia, fundamentalmente, na sistematização do processo de criatividade e procura por soluções inventivas, organizando os problemas e orientando a busca por ideias já utilizadas no passado e presente, visando melhorias futuras nos sistemas estudados. Característica essa já apontada em estudos anteriores a respeito do uso da TRIZ, ou seja, aspecto convergente com a literatura no tema. Além disso, percebeu-se que foi encontrada maior quantidade de oportunidades relacionadas ao Princípio Inventivo 2 (extração), onde é possível extrair os materiais geradores do problema, por materiais sustentáveis, como o concreto expandido, usado como isolante térmico em construções civis, por apresentar uma porosidade, onde o ar é separado em diversos espaços. Material 100% reciclável, que não causa impacto ambiental.

Por fim, conclui-se que os conceitos da metodologia TRIZ podem oferecer suporte à produção mais limpa, explicitando de forma sistemática o funcionamento do sistema técnico (ST), os recursos envolvidos no sistema e seus arredores, as funções indesejadas, os parâmetros influentes e que têm potencial possibilidade de aprimoramento dos atuais sistemas de aquecimento solar, orientando para o resultado final ideal (RFI) e o quanto é possível se aproximar da situação de idealidade nas situações problemáticas pesquisadas, auxiliando na geração de soluções e posterior tomada de decisão.

Como limitação deste estudo, ressalta-se que as propostas apresentadas necessitam de estudos mais aprofundados a respeito dos reais benefícios técnicos, ambientais e econômicos. Considerando-se que o foco desta pesquisa é, inicialmente, a identificação de melhorias nos atuais sistemas de aquecimento solar, estudos futuros abordarão as oportunidades mais atrativas de forma detalhada, uma vez que essa é a próxima etapa do projeto de pesquisa em andamento, ao qual este trabalho está vinculado. A perspectiva é elaborar uma nova proposta de sistema de aquecimento solar que seja sustentável e acessível a diversas faixas de mercado, trazendo benefícios à sociedade e ao meio ambiente.

## 6. Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio do Fundo de Incentivo à Pesquisa (FIPE) da Universidade Federal de Santa Maria, o qual foi de fundamental importância para a realização deste trabalho.

## 7. Referências

- Alves, C., 2010. Ecodesign of automotive components making use of natural jute fiber composites. *Journal of Cleaner Production* v.18, n. 04, p. 313–327.
- Back, N.; Ogliari, A.; Dias, A.; Silva, J.C., 2008. Projeto Integrado de Produtos: Planejamento, Concepção e Montagem. Manole, Florianópolis.
- Carvalho, M.A., 2007. Metodologia IDEATRIZ para a Ideação de Novos Produtos. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Universidade de Santa Catarina, Florianópolis-SC, Brasil.
- Carvalho, M.A.; Back, N., 2001. Uso dos conceitos fundamentais da TRIZ e do método dos princípios inventivos no desenvolvimento de produtos. 3º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto, 3. Florianópolis.
- Carvalho, M.A.; Back, N.; Ogliari, A., 2005. TRIZ no Desenvolvimento de Produto: Encontrando e Resolvendo Contradições Técnicas e Físicas. V CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO, Curitiba, PR. 5 CBGDP, 2005, v. CD-ROM, 10 p.

Carvalho, M.A.; Hatakeyama, K., 2003. Solução inventiva de problemas e engenharia automotiva – a abordagem da TRIZ. <http://www.aditivaconsultoria.com/artigoengautomotivaeaerospacial-marcoekazuo.pdf> acessado em Janeiro/2013.

Cauchick Miguel, P.A., 2010. Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações. Elsevier, Rio de Janeiro.

Fresner, J.; Jantschgi, J.; Birkel, S.; Bärnthaler, J.; Krenn, C., 2010. The theory of inventive problem solving (TRIZ) as option generation tool within cleaner production projects. *Journal of Cleaner Production*, v. 18, n. 02, p. 128-136.

Kubota, F.I.; Rosa, L.C., 2012a. Identification and conception of cleaner production opportunities with the Theory of Inventive Problem Solving. *Journal of Cleaner Production*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.07.059> acessado em Fevereiro/2013.

Kubota, F.I.; Rosa, L.C., 2012b. A Teoria da Solução Inventiva de Problemas (TRIZ) na identificação de oportunidades de produção mais limpa. *Revista Gestão Industrial*, v. 08, n. 03, p. 109-125.

Li, X., 2004. Conflict-based Method for Conceptual Process Synthesis. 104f. Tese (Doutorado em Ciência – Tecnologia) – Universidade de Tecnologia de Lappeenranta, Laapeenranta, Finlândia.

Li, X.N.; Rong, B.G.; Kraslawski, A., 2001. TRIZ-Based Creative Retrofitting of Complex Distillation Processes – An Industrial Case Study. *European Symposium on Computer Aided Process Engineering*, v. 11, p. 439-444.

Li, X.N.; Rong, B.G.; Kraslawski, A.; Nyström, L., 2003. A Conflict-based approach for process synthesis with wastes minimization. *European Symposium on Computer Aided Process Engineering*, v. 13, p. 209-214.

Özbay, A.; Demirer, G.N., 2007. Cleaner production opportunity assessment for a milk processing facility. *Journal of Environmental Management*, v. 84, n. 04, p. 484-493.

PNEE – Plano Nacional de Eficiência Energética, 2011. Ministério de Minas Energia, Brasil. <http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/PlanoNacEfiEnergetica.pdf> acessado em Janeiro/2013.

RBCAS – Rede Brasil de Capacitação Solar, 2005. Noções iniciais sobre o aquecimento solar. [www.mesasolar.org.uy/archivos/nocoos.pdf](http://www.mesasolar.org.uy/archivos/nocoos.pdf) acessado em Fevereiro/2013.

Revista Sol Brasil, 2011. Departamento Nacional de Aquecimento Solar (DASOL) nº 5, São Paulo.

Santor, C.G., 2012. Utilização de materiais naturais como medida de produção mais limpa no isolamento térmico de coletor solar para aquecimento de água. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, Brasil.

Scyoc, K.V., 2008. Process safety improvement – Quality and target zero. *Journal of Hazardous Materials*, v. 159, n. 01, p. 42-48.

Srinivasan, R.; Kraslawski, A., 2006. Application of the TRIZ creativity enhancement approach to design of inherently safer chemical processes. *Chemical Engineering and Processing*, v. 45, n. 06, p. 507-514.

Stratton, R.; Mann, D., 2003. Systematic innovation and the underlying principles behind TRIZ and TOC. *Journal of Materials Processing Technology*, v. 139, n. 01-03, p. 120-126.

Yang, C.J.; Chen, J.L., 2011. Accelerating preliminary eco-innovation design for products that integrates case-based reasoning and TRIZ method. *Journal of Cleaner Production*, v. 19, n. 09-10, p. 998-1006.