

Troca de ferramentas e redução do aquecimento em serras circulares na serraria de madeira sob a abordagem da Teoria da Resolução Inventiva de Problemas (TRIZ)

Jhonattan Trejo Franco (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais / PPGEM - UTFPR, Campus Ecoville) tjhonattan@ula.ve
Henrique Kozłowski Buzatto (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais / PPGEM - UTFPR, Campus Ecoville) buzatto@alunos.utfpr.edu.br
Marco Aurélio De Carvalho (UTFPR. SOMA Inovação Sistemática) marcoaurelio@utfpr.edu.br

Resumo:

Na usinagem da madeira, busca-se sempre alcançar a melhor qualidade do produto e reduzir os fatores que podem influenciar negativamente na produtividade da indústria, e para isso, os profissionais envolvidos devem utilizar todas as ferramentas disponíveis para atingir metas exigentes e objetivos ambiciosos. É possível usar a criatividade sistematizada para resolver problemas típicos em processos de fabricação, como na usinagem? A Teoria da Solução Inventiva de Problemas (TRIZ) é uma abordagem muito poderosa e pouco implementada como ferramenta de suporte em sistemas de produção na indústria madeireira. Neste artigo é apresentada uma proposta conceitual para a resolução de dois problemas associados com o corte de madeira com serras circulares. Como métodos foi usado o Questionário de Situação de Inovação (QSI), do Análises de Interações os Padrões inventivos propostos por Altshuller como ferramenta da TRIZ clássica. Para o problema de identificação do desgaste das serras, se recomendou o uso do campo de fácil medição (consumo de energia elétrica) associado a um parâmetro de medição difícil (desgaste da ferramenta de corte em operação) e para o problema de aquecimento da ferramenta de corte, foi sugerida a incorporação de um novo campo que neutraliza o efeito prejudicial, este é um campo de refrigeração usando jato de ar comprimido nos discos de corte. Apresenta-se o passo a passo da aplicação do método, a inspiração para as propostas e as aplicações recomendadas.

Palavras chave: Teoria da Solução Inventiva de Problemas (TRIZ); Serraria de madeira; Desgaste de serras; Aquecimento de serras.

Tool change and reduction of heating in circular saws in the machining of wood under the approach of Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ)

Abstract

In wood machining, always seeks to achieve the best product quality and reduce the factors that can negatively influence the productivity of the industry, and for this, the professionals involved must use all the available tools to achieve demanding goals and ambitious goals. Is it possible to use systematized creativity to solve typical problems in manufacturing processes, such as in machining? The Theory Inventive Problem Solving (TRIZ) is a very powerful approach and little implemented as a support tool in production systems in the timber industry. This paper presents a conceptual proposal for solving two

problems associated with cutting wood with circular saws. The methods used were the Innovation Situation Questionnaire (ISQ), the Interactions Analysis and the Inventive Standards proposed by Altschuller as a classic TRIZ tool. For the problem of identification of wear of the saws, it was recommended to use the field of easy measurement (electric power consumption) associated to a difficult measurement parameter (wear of the cutting tool in operation). For the heating problem of the tool cutting, it was suggested to incorporate a new field that neutralizes the damaging effect; this is a cooling field using compressed air jet in the cutting disks. It presents the step-by-step application of the method, the inspiration for the proposals and the recommended applications.

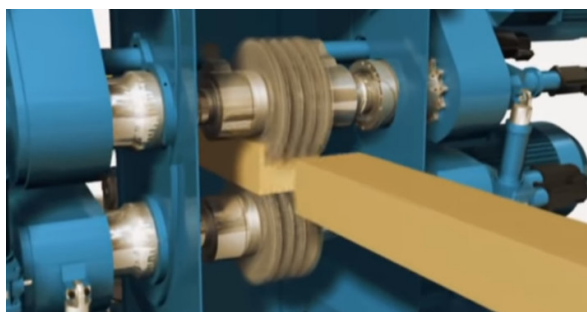
Key words: Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ); Wood sawing; Wear of saws; Heating of saws

1. Introdução

Serraria da madeira

A serração de madeira é uma forma de processamento primário de madeira na sua forma primária (tora) até o produto requerido como as peças serradas, através do uso de máquinas de corte como as serras de fita ou as serras circulares, para obter vários produtos sob a forma de um paralelepípedo regular chamado peças serradas (Figura 1).

Figura 1: Serras circulares e bloco de madeira na serraria.



Fonte: USNR (sd). Söderhamn Eriksson, serras circulares com eixo duplo com deslocamento.

As serras circulares como ferramentas de corte nas serrarias

As serras circulares no corte, devem ser capazes de suportar as demandas durante o processo, sem perder sua eficiência. São formadas por um corpo de metal circular dentado na sua periferia, que é responsável por cortar a madeira longitudinal ou transversalmente, conforme o caso, através da rotação da ferramenta de corte (Figura 1).

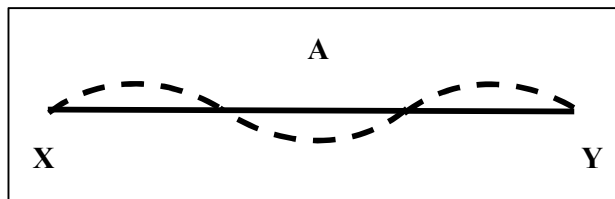
A serra circular, quando fica em rotação, experimenta as ações da força centrífuga, que tende a deslocar o material do centro de rotação para o exterior do disco. É por isso que o corpo das serras circulares sofre deformações que não são distribuídas uniformemente por toda a lâmina da serra, porque a distribuição das tensões que causam essas deformações não é uniforme, sendo mais forte na borda da serra do que no centro.

A força de corte aumenta quando a serra sofre desgaste, e a temperatura de corte aumenta com o aumento da força de corte. Os esforços que provocam deformações no disco também aumentam com o desgaste da serra e adicionam um fator importante, que é o aumento da temperatura, o que origina a dilatação do aço e favorece as deformações na lâmina (NININ, 1986).

Estas ações fazem com que a serra em rotação sofra uma expansão dimensional na periferia, fazendo que a serra na periferia seja muito grande em relação à sua parte central, e, portanto, a relação $Circunferência = \pi \times Diâmetro$ se quebra, deixando a serra deformada em forma de oito (8), sem a capacidade de se opor resistência lateral, isso faz com que durante o corte, ao descrever a circunferência obtenha uma linha curva e serpenteante, mais longa que a linear x-y na direção de corte (Figura 2-A). Isto é conhecido como perda de tensão nos discos de corte.

Figura 2: A: trajetória teórica de corte e trajetória real de uma serra com perda de tensão.

B: madeira serrada com baixa qualidade superficial, superfícies com marcas de corte.



Fonte: Autores (2018).

Isto tem como consequência que com o uso de serras que perderam tensão, a madeira serrada é produzida com variações dimensionais significativas na espessura e qualidade superficial muito baixa, caracterizada por superfícies arranhadas pela oscilação do disco na madeira durante sua trajetória de corte (Figura 2-B), gerando marcas de corte na madeira, temperaturas mais altas de corte, peças com marcas de queimaduras, aumento dos esforços de corte, maiores deformações na serras, consumo de potência excessiva, sobreaquecimento dos motores e da ferramenta de corte, podendo chegar até um processo de corte violento e perigoso.

Existe uma estreita relação entre a ecoeficiência e a competitividade das empresas, pois, embora as empresas ajam de forma criativa e respondam às demandas ambientais, elas não apenas reduzem o desperdício e usam os recursos de maneira mais eficiente, como também agilizam seus processos de produção, reduzem custos, melhorar a qualidade de seus produtos e assumir a liderança contra outras empresas, tornando-as mais competitivas (TAYLHARDT, 1998).

2. Referencial Teórico

O desgaste de ferramentas de corte

Em serração da madeira como em outras formas de usinagem de materiais são constantemente buscados cinco objetivos principais, que podem ser resumidos em (JUNAC, 1989): Obtenção de qualidade de superfície e precisão de cortes, procura da eficiência na operação, controle de desgaste da ferramenta, redução de consumo de energia e das perdas de matéria-prima.

O desgaste é um processo natural e progressivo devido ao atrito entre a ferramenta de corte e a matéria-prima, neste caso a madeira (NININ, 1986). Pérez (2011) afirma que o desgaste é um fenômeno tribológico, que ocorre quando dois corpos, sujeitos a uma carga, estão em contato e em movimento relativo. Pode ser definido como a remoção progressiva de material de uma superfície em movimento relativo em relação ao agente causador da referida remoção (DÍAZ, 2007). Como o desgaste é uma ação progressiva que é uma função do tempo de corte efetivo e deteriora as arestas de corte das ferramentas, aumenta progressivamente o esforço de corte e perde a capacidade de cortar as fibras.

Com a evolução do desgaste, as ações decorrentes do aumento do esforço de corte e da temperatura de corte aumentam o efeito da perda de tensão nas ferramentas de corte, o que mostra a importância de conhecer o momento exato para a troca das serras. No entanto, as

operações de parada para efetuar trocas de ferramentas de corte em estágios prematuros da curva de desgaste também geram consequências associadas principalmente à diminuição da produtividade da fábrica, redução da vida útil das ferramentas de corte ao afiar, quando ainda elas têm a capacidade de cortar, aumentos nos suprimentos para afiar e em horas homens de trabalho.

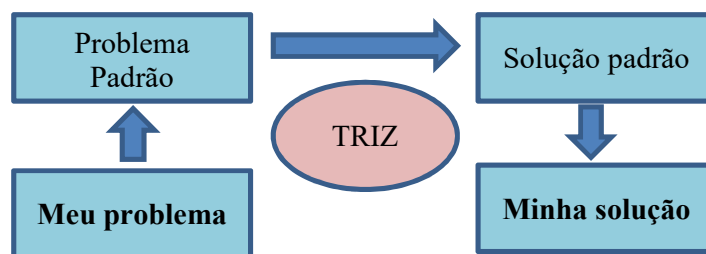
Conhecer o momento exato para a mudança das ferramentas de corte em uma serraria é muito importante e na grande maioria das indústrias, esta operação é realizada da forma empírica, em outras têm padronizado as mudanças de ferramentas às mudanças de jornada de trabalho, ou volumes de produção padrão com valores muito distantes entre as indústrias e em outras as mudanças são feitas quando já é evidente demais na operação das serras e na qualidade dos produtos, sempre com o objetivo principal de maximizar a produtividade. Seria conveniente fazer a troca de ferramentas de corte nas paradas de manutenção programadas e, idealmente, não parar a maquinaria para trocar as ferramentas de corte.

Teoria da Resolução Inventiva de Problemas (TRIZ)

A TRIZ é uma ferramenta desenvolvida pelo engenheiro russo Genrich Altshuller e que foi anunciada desde 1956, mas ainda é pouco conhecida. Altshuller desenvolveu a teoria através da análise de um milhão e meio de patentes de invenção, que ele então purificou mantendo só 200.000 delas, tentando encontrar apenas os problemas inventivos e a maneira como foram resolvidos. Destes, apenas 40.000 patentes foram consideradas inventivas, o resto eram apenas melhorias rotineiras. Sua ideia era desenvolver um método sistemático e criativo para resolver problemas que envolvessem a resolução de Contradições em Sistemas Técnicos, ou seja, a solução de um problema poderia originar outro problema, e que quando essa contradição fosse resolvida, a solução do problema se aproximaria mais da Solução Ideal (SAVRANSKY, 2000).

Na TRIZ, o Problema Particular é elevado em relação a um Problema Padrão de natureza análoga ou similar com solução conhecida ou Solução Padrão para obter a solução para o problema específico ou Solução Particular (Figura 3).

Figura 3: Simple esquema de resolução de problemas na TRIZ



Fonte: Autores (2018). Adaptação de Savransky (2000).

TRIZ, como ciência, propõe resolver problemas com um alto nível de abstração. Ela determina e categoriza os aspectos regulares dos sistemas técnicos e processos tecnológicos que precisam ser melhorados, bem como o processo inventivo para alcançar a melhoria esperada. É uma metodologia sistemática e analítica que é reforçada com diversas ferramentas que promovem o pensamento criativo e a eficiência das soluções, porque enfatiza a extrapolação de problemas específicos para problemas padrão com soluções conhecidas ou aplicadas em outras áreas (SAVRANSKY, 2000).

3. Metodologia

Questionário de Situação de Inovação (QSI)

Para a análise do problema se optou pela utilização do Questionário de Situação de Inovação (QSI), que foi utilizado conforme descrito por De Carvalho *et al.* (2012), já que é uma ferramenta que pode ser usada como instrumento para analisar e descrever o problema, através da exploração completa do sistema estudado.

Para isso, são necessárias informações descritivas sobre o sistema que precisa ser melhorado, reunindo dados básicos sobre o sistema, como nome, função, estrutura, operação e áreas relacionadas. Liste recursos disponíveis que nem sempre são usados ou que podem ter outra participação no sistema, por exemplo, recursos químicos, campo (energia elétrica, potencial gravitacional), espaço atual, tempo, informação e função. É necessário obter informações sobre o problema a ser eliminado e descrever sua participação na situação, o mecanismo que causa o problema, o histórico de sua evolução e outros problemas associados que devem ser resolvidos.

Deve identificar quais são as modificações permitidas pelo sistema e suas limitações. Como critérios para a seleção de soluções conceituais, é necessário identificar as características tecnológicas e econômicas desejadas no sistema, o calendário desejado, o grau esperado de inovação. É importante ter um histórico de tentativas para resolver o problema, que podem ser desenvolvidas a realização de um estudo dos produtos existentes no mercado, identificar as soluções que foram experimentados dentro da empresa, patentes de pesquisa.

Análise de Interação

Tendo identificado o problema e conhecendo o funcionamento do sistema, as funções das principais partes do sistema relacionadas ao problema, pode ser usada a ferramenta de Análise de Interação para revelar mais informações sobre o sistema e o problema estudado.

Mann (2001) destaca que na análise de interações, cada elemento do sistema conecta-se a outros por meio de interações (funções) através de gráficos ou quadros. Essas interações são agrupadas em interações benéficas ou eficazes, interações nocivas ou prejudiciais e das interações que não afetem consideravelmente o sistema conhecidas como interações neutras. Os principais problemas estão associados a interações prejudiciais, especialmente aquelas relacionadas à função principal do sistema, portanto, ao analisar essas funções prejudiciais, informações relevantes do problema podem ser identificadas, como sua causa raiz, influência dos elementos do sistema sobre a magnitude do problema, entre outros, para então encontrar soluções adequadas para o problema.

Padrões inventivos

Os padrões inventivos convergem em que, se dois problemas resultam em modelos de problema idênticos, eles têm padrões de solução idênticos ou padrão (SAVRANSKY, 2000). Para isso, foi necessário analisar as 5 classes da lista de 76 soluções padrão, que podem ser usadas conhecendo detalhadamente o sistema estudado, o problema que afeta o sistema, os recursos e campos que intervêm e estão disponíveis, bem como suas interações. Esses padrões inventivos derivam diretamente das leis da evolução dos sistemas técnicos, orientando a síntese e a transformação desses sistemas, eliminando implicitamente as contradições técnicas.

4. Resultados e discussão

Conforme descrito, a análise do problema foi utilizada o QSI, a aplicação deste, pode ser detalhado continuação.

I. Informações sobre o sistema

Nome do sistema e função: Sistema de serraria ou usinagem de madeira. Sua função fazer o corte dos blocos de madeira em peças serradas.

Estrutura e funcionamento do sistema: Os componentes principais do sistema são o motor que rotaciona o eixo. O eixo onde gira as serras, que quando estão girando entram em contato com a madeira usinando estas no formato requerido. O sistema de alimentação da madeira que será serrada. A estrutura de suporte da maquinaria.

Meio ambiente do sistema: As serras interagem com a madeira cortando-a, e interagem com o eixo que gira estas, o eixo interage com o motor que faz com que esse gire, também há a interação com o meio, fazendo com que o processo seja influenciado pelo ar, temperatura, etc.

II. Recursos disponíveis

Substancias: Serras de corte, o eixo, a mesa da alimentação, a estrutura que suporta a maquinaria, a madeira que será serrada, serragem gerada no processo de corte, instrumentos de medição para manutenção (intensidade de corrente, temperatura, etc), ar comprimido disponível nas indústrias, suprimentos de manutenção.

Campos: Temperatura do ambiente, temperatura do disco de corte, campo gravitacional, rede elétrica, etc.

III. Informações sobre a situação do problema

Qual a melhoria desejada: Que as serras não trabalhem já desgastada, para isso se deseja obter a informação de quando as serras precisam ser trocadas.

Problema a ser eliminado: Perda da qualidade de corte, devido a deformação do disco, ocasionada pelo atrito entre a serra e a madeira, o aumento de temperatura de corte, superaquecimento das serras, superaquecimento do motor, baixa produtividade.

Outros pontos que podem ser otimizados: Pode-se aumentar a vida útil da serra.

IV. Modificação do sistema

Modificações permitidas e limitações sobre mudanças: Pode-se trabalhar nos motores, no meio ambiente, nos eixos e na estrutura de sustentação. O atrito entre a madeira e as serras deve ser mantido, o sistema atual deve ser melhorado e não substituído, as serras e a força centrífuga não devem ser modificadas, pois, a velocidade de giro da serra está associada a parâmetros de corte requeridos.

V. Critérios para a seleção de soluções conceituais

Identificar características tecnológicas: Deve-se priorizar soluções que possam ser implementadas no equipamento atual.

Características econômicas desejadas: Deve-se priorizar a identificação da necessidade de troca do disco de corte de modo que esse possa ser trocado antes de que este comesse a executar cortes sem precisão, já que esses fazem com que a madeira perca qualidade e valor.

VI. Histórico de tentativas para solução do problema

Tentativas anteriores de resolução do problema: Atualmente se tenta minimizar o problema através de trocas programadas, porém este método não elimina o problema uma vez que o desgaste e a deformação do disco variam de acordo com os metros de madeira serrada e condição da madeira a ser serrada.

Outros sistemas com problemas similares: O problema também se apresenta em situações de usinagem de outros tipos de material.

As análises de interação entre os componentes do sistema podem ser vistas nos quadros 1 e 2:

Quadro 1: Análises de interações entre os componentes do sistema com a serra em bom estado.

-	Motor elétrico	Eixo	Serra	Sistema de alimentação	Madeira
Motor elétrico		(o) Rotaciona			
Eixo			(o) Gira		
Serra					(o) Entra em atrito / (*) Corta em peças
Sistema de alimentação					(*) Direciona para o sistema
Madeira			(x) Desgasta / (x) Aquecimento da serra		

Fonte: Autores (2018). (o) Interações neutras. (*) Interações benéficas ou desejadas. (x) Interações nocivas ou prejudiciais.

Quadro 2: Análises de interações entre os componentes do sistema com a serra desgastada.

-	Motor elétrico	Eixo	Serra desgastada	Mesa de alimentação	Madeira
Motor elétrico		(o) Rotaciona			
Eixo			(o) Gira		
Serra desgastada	(x) Aumenta o consumo de energia	(x) Aumenta o esforço mecânico			(o) Entra em atrito / (x) Corta de maneira não conforme
Mesa de alimentação					(*) Direciona para o sistema
Madeira			(x) Desgasta / (x) Aquecimento da serra		

Fonte: Autores (2018). (o) Interações neutras. (*) Interações benéficas ou desejadas. (x) Interações nocivas ou prejudiciais.

A partir do QSI e do Análises de Interações entre os componentes com a serra em bom estado e com a mesma desgastada, se observa que um dos principais problemas a ser tratado no sistema, é como identificar o momento em que a “serra em bom estado” passe a ser uma “serra desgastada”, uma vez que nesse ponto o número de interações negativas entre os componentes do sistema aumenta em 150% (de 2 para 5), outro ponto negativo identificado a ser trabalhado é o aquecimento da serra durante o processo de corte.

4.1 Identificação do desgaste da serra

Para resolver um dos problemas analisados, é necessário poder identificar o instante em que as serras se tornem umas “serras desgastadas” enquanto estão em operação, já que a partir deste momento se gerará produtos com baixa qualidade e consequentemente de menor valor econômico. Ao se identificar esse momento onde a troca da serra é necessária, se evita a

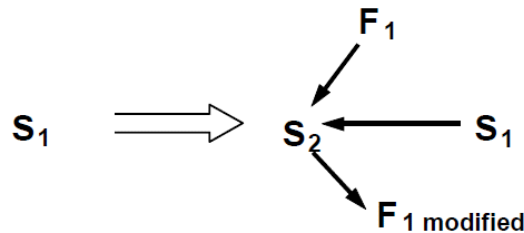
utilização de ferramentas de corte desgastadas e se evita que se troque a serra sem necessidade, gerando assim um maior aproveitamento da serra uma vez que esta será utilizada durante todo seu tempo útil de trabalho.

Relacionando o problema com os padrões inventivos, identifica-se que o problema está associado a um "Padrão de Medição e Detecção" (Classe 4) e ao seu Grupo 4.2 "Síntese do sistema de medição", especificamente com o Padrão Inventivo 4.2.1, Salamatov (2005) destaca que (Figura 4):

"Se um modelo de Su-campo não é fácil de detectar ou medir, o problema é resolvido sintetizando um modelo de Su-campo simples ou duplo com um campo na saída. Em vez de medição direta ou detecção de um parâmetro, outro parâmetro identificado com o campo é medido ou detectado. O campo que deve ser inserido deve ter um parâmetro que possamos detectar ou medir facilmente e que possa indicar o estado do parâmetro que precisamos detectar ou medir".

Para isso, pode-se escolher medir o desgaste da serra através do campo eletricidade (consumo de intensidade de energia), já que com o desgaste das serras, o esforço de corte aumenta e, portanto, aumenta as demandas energéticas do processo. Desta forma, pode-se medir um parâmetro de difícil medição (desgaste da serra em operação) através de um campo de fácil medição (intensidade elétrica).

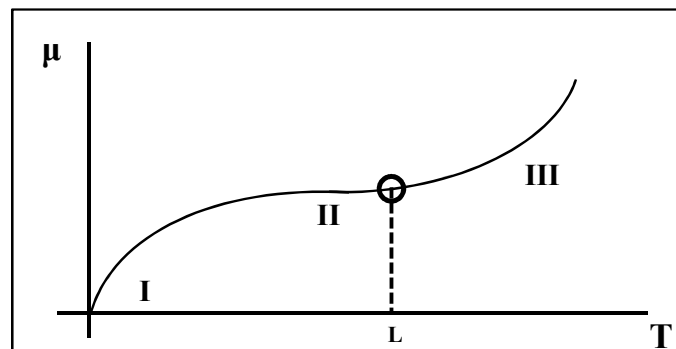
Figura 4: Padrão inventivo 4.2.1. Uso do campo de fácil medição associado a um parâmetro de medição difícil.



Fonte: Salamatov (2005). STANDARD 4-2-1. S1: Serra. S2: Madeira. F1: Desgaste da serra. F1 modified: Intensidade de energia.

Ninin (1986) destaca que o desgaste na serraria é uma função do tempo de trabalho efetivo ou do trabalho realizado, que é representado por uma curva sigmoidal característica como é mostrado na Figura 4, onde μ é a perda de material devido ao desgaste da borda, T é o tempo efetivo de trabalho ou trabalho realizado e L (círculo na função) é o limite de uso antes de afiar a ferramenta, também conhecidos como Limite Econômico de uso da ferramenta.

Figura 4: Curva do desgaste em função do tempo de trabalho efetivo das ferramentas de corte.



Fonte: Autores (2018). Adaptação de Ninin (1986): Limite Econômico de uso da ferramenta; e Pérez (2011): Curva do desgaste.

A curva formada na Figura 4 é distribuída em três regiões importantes. No início (zona I), o desgaste é acelerado com uma tendência de crescimento logarítmico, porque o nível da borda é extremamente fino e executa a maioria das ações, portanto, é considerado como um estágio de curto prazo. Este valor tende a diminuir com o trabalho, o tempo ou a trajetória de atrito até atingir um valor mais estável com tendência de crescimento quase linear (zona II), denominado zona de trabalho até o Limite Econômico de uso da ferramenta (L), neste ponto, a taxa de desgaste se estabiliza por um certo tempo, até que as dificuldades de corte sejam excessivamente aumentadas. A partir desse momento (zona III), o desgaste aumenta de forma acelerada e é chamado de desgaste catastrófico (NININ, 1986 e PÉREZ, 2011), caracterizado por um aumento significativo na taxa de desgaste com tendência exponencial. É um estágio que deve ser evitado, pois afeta as ferramentas de corte, a toda a maquinaria, mecanismos e a qualidade final do produto.

Trejo *et al* (2015), destaca que em avaliações experimentais em serraria com serras de fita, aumentos significativos no consumo de energia foram observados quando a espessura do cavaco foi aumentada acima do valor ótimo (espessura do cavaco ótimo), atribuindo este efeito principalmente ao aumento os esforços de cortes na madeira.

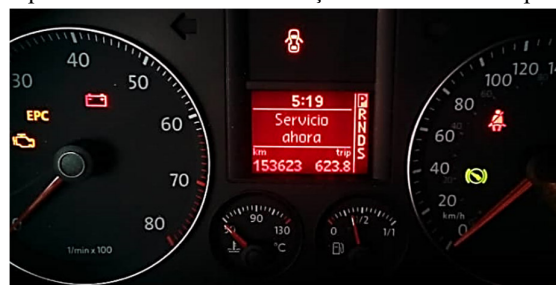
O resultado obtido teoricamente através do TRIZ, é apoiado e energeticamente pode ser demonstrado por meio da fórmula matemática proposta por Antoine (1956):

$$F = a + b + (c' + c'') \quad (1)$$

Onde, F = é o componente paralelo à força de corte, a = é o corte das fibras, b = é o cisalhamento lateral duplo, c' = é a transformação do cavaco em serragem e c'' = corresponde à evacuação de serragem da ferramenta. Entendendo que quando as arestas de corte foram perdidas devido ao desgaste, a ferramenta perde a capacidade de cortar as fibras (a), portanto, a componente paralelo à força de corte (F) é aumentada proporcionalmente com o desgaste.

Para realizar esta ação, é necessário usar os dados de consumo de energia para determinar a função (curva sigmoidal, Figura 4) e através de métodos matemáticos, como por exemplo, a determinação do ponto de inflexão L (círculo na função) através da segunda derivada da função de consumo de energia. Depois, se propõe utilizar um amperímetro para se medir as alterações no consumo de energia, e ligado a este um sinal luminoso que seja disparado quando o amperímetro revela um consumo de energia acima do padrão e mantido (Limite Econômico), indicando assim que a serra está desgastada e precisa ser trocada. A inspiração para isto, é derivado do objetivo principal do método *Kanban* (gerar um sinal visual de atenção), assim como nos mostradores presentes no painel dos automóveis que mostram sinal luminosa em atenção a baixos níveis de combustível, óleo, necessidade de serviço de manutenção (Figura 5).

Figura 5: Proposta de uso de sinal de atenção visual como nos painéis dos veículos.



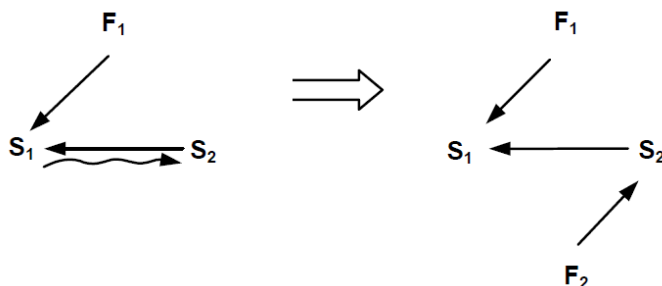
Fonte: Autores (2018). Veículo de referência.

4.2 Redução da temperatura de corte

Salamatov (2005), expressa que a necessidade de utilizar as Substâncias e Campos disponíveis à mão, de baixo custo e de fácil implementação. Ao estudar os padrões inventivos em relação ao problema de aquecimento das serras, observa-se que o problema está associado a um "Composição e Decomposição do Su-campos" (Classe 1) e ao seu Grupo 1.2 "Decomposição do Su-campos", especificamente com o Padrão Inventivo 1.2.4, Salamatov (2005) destaca que (Figura 6):

"Se aparecerem efeitos prejudiciais entre duas substâncias em um modelo Su-campo, e o contato direto tiver que ser mantido entre as substâncias, o problema pode ser resolvido pela transição para um modelo Su-campo duplo, no qual o campo existente fornece o efeito útil enquanto um novo campo neutraliza o efeito prejudicial [...]".

Figura 6: Padrão inventivo 1.2.4. Incorporação de um novo campo que neutraliza o efeito prejudicial.



Fonte: Salamatov (2005). STANDARD 1-2-4. S₁: Madeira. S₂: Serra. F₁: Calor de corte. F₂: Campo de refrigeração.

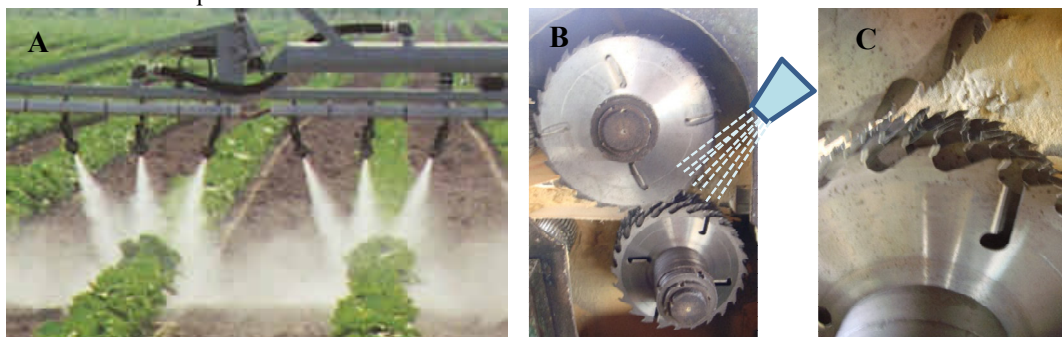
O ar comprimido é um dos recursos mais utilizados nas indústrias após a energia elétrica, devido ao seu baixo custo, velocidade e rápida resposta ao trabalho. Em na usinagem de metais é usado como um jacto de ar diretamente para a zona de corte e revelou-se eficiente para mover partículas na forma de cavacos, reduzindo a temperatura de corte e para prolongar a vida útil de ferramentas.

O uso de jato de ar comprimido na usinagem de materiais, tem mostrado importantes resultados principalmente na usinagem de metais, que se destina a reduzir os fluidos de corte convencionais por técnicas avançadas com uma mistura de pequenas quantidades de óleos para lubrificação e ar comprimido para resfriamento (FRAGOSO, 2017). No método de Mínima quantidade de lubrificação (MQL) como na técnica de Mínima quantidade de fluido combinado com a aplicação de ar comprimido resfriado (CAMQL) a vida útil da ferramenta de corte é melhor, e acabamento superficial é melhorado com o sistema de limpeza por ar comprimido, além disso, um jato que incida de forma direta sobre a região de corte é capaz de reduzir de forma significativa a temperatura nessa região (DESTRO *et al*, 2011).

Neste caso, propõe-se direcionar um desvio da rede de ar comprimido principal através da tubulação para a serra de disco múltiplo em questão, e internamente na serra sobre o trem de disco usar uma tubulação perfurada para direcionar o fluido de ar comprimido para na área de corte ou zona de contato entre as serras e a madeira (Figura 7-B) semelhante a um sistema de irrigação por aspersão (Figura 7-A).⁴

Deste modo, é possível forçar a evacuação dos cavacos e a serragem para fora da área de corte específica (Figura 7-C), bem como reduzir a temperatura do corte e por tanto o aquecimento das serras, reduzindo possíveis deformações nos discos, fazendo uso racional das ferramentas.

Figura 7: A: Sistema de irrigação por aspersão. B: Representação da posição do ar comprimido nos discos e C: Área de corte específica entre os discos.



Fonte: A: Dos Santos (2009), Sistema de irrigação por pressão nas culturas. B e C: Autores (2018), eixo duplo com serras circulares na serraria.

5. Conclusões

No presente artigo, foi feito o estudo de um sistema de usinagem com a intuito de melhorar uma situação problemática apresentada no corte de madeira nas serrarias, utilizando ferramentas disponíveis da Teoria da Solução Inventiva de Problemas (TRIZ). Se uso o método de Questionário de Situação de Inovação (QSI), do Analises de Interações entre os componentes do sistema e das relações com os Padrões Inventivos propostos por Altshuller como ferramenta da TRIZ clássica, para identificar os principais problemas, relacionamentos, origens e propor soluções.

Entre os problemas identificados, um corresponde à medida de um parâmetro de resposta ao processo de corte (desgaste das serras) e outro um problema de aquecimento de uma parte do sistema (aquecimento das serras). Se propôs para ambos, soluções criativas e originais baseadas na abordagem da filosofia da TRIZ, no qual, se recomendou o uso do campo de fácil medição (consumo de energia elétrica) associado a um parâmetro de medição difícil (desgaste da ferramenta de corte em operação). Para o problema de aquecimento da ferramenta de corte, foi sugerida a incorporação de um novo campo que neutraliza o efeito prejudicial, este é um campo de refrigeração usando jato do ar comprimido nos discos de corte, baseado nos recursos disponíveis, baratos e fáceis de implementar.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais (PPGEM) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) pelo apoio financeiro para a apresentação deste trabalho, ao SOMA Inovação Sistemática, à CAPES e OEA pelo apoio financeiro do investigador 1 e à Fundação Araucária & Renault do Brasil pelo apoio financeiro de investigador 2.

Referências

ANTOINE, R. *The effect of saw speed on the actual work and on the dulling of wood saw teeth*. Rev. Bois Appl. 10: 5–10. 1956.

DE CARVALHO, M. BUZINARO, C; BRANDALIZE, G; CHAGAS, L. *Creativity in design and process problems with TRIZ (Theory of inventive problem solving)/Systematic innovation*. Product: Management & Development, v. 10 n 2, p. 87-94. 2012.

DESTRO, R., BIANCHI, E., OIKAWA, M., MELO E DE SOUSA, M., DAMASCENO, R., AGUIAR, P., SAMPAIO, M. *Análise de diferentes métodos de lubri-refrigeração na retificação plana de aço*. 6º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação. 2011.

DÍAZ, F. *Tribología: Fricción, Desgaste y Lubricación*. 2007. Disponível em: <http://profefelipe.mex.tl/imagesnew/4/6/9/5/1/TRIBOLOGIA.pdf> Acesso em: 18 agosto 2018.

DOS SANTOS, J. *Sistema de controlo de irrigação baseado em linguagem java*. (Dissertação de Mestrado). Universidad de Aviero. Portugal. 2009. Disponível em: <https://ria.ua.pt/bitstream/10773/2116/1/2010001034.pdf> Acesso em: 18 agosto 2018.

FRANGOSO, K. *Aplicação da técnica de MQL combinado com ar resfriado (CAMQL) na retificação do aço ABNT 4340 com rebolo de CBN*. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista. 2017.

JUNAC. Junta del Acuerdo de Cartagena. *Manual del Grupo Andino para el aserrío y afilado de sierras de cintas y sierras circulares*. Perú. 1989.

MANN, D. *An Introduction to TRIZ: the theory of inventive problem solving*. Creativity and Innovation Management. v. 10, n.2. 2001.

NININ, L. *Manual de Aserrado y afilado*. Primera Edición. Universidad de Los Andes. Venezuela. 1986.

PÉREZ, M. *Tribología Integral*. México. Editorial Limusa. 2011.

SARACHE, L. *Procesos de conformado con arranque de viruta*. Primera Edición. Universidad de Los Andes. Venezuela. 2000.

SALAMATOV, Y. *TRIZ: the right solution at the right time: A Guide to Innovative Problem Solving*. Second edition. Russia. 2005.

SAVRANSKY, S. *Engineering of Creativity. Introducción a la Metodología TRIZ de Solución de Problemas Inventiva*. CRC Press, Boca Raton, Florida, 2000.

TAYHARDAT, A. *Ecoeficiencia: Moda o Visión?* DEBATES IESA, Gerencia y Ambiente. Vol. 3(4). 1998.

TREJO, J., NININ, P., NININ, F., ARAQUE, H. *Incremento de la productividad en el aserrado de maderas como resultado de la calidad del filo de sierras de cinta*. Revista Forestal Venezolana. v.001, n059. 47-61. 2015. Disponível em: <http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/43581> Acesso em: 18 agosto 2018.

USNR. Söderhamn Eriksson. *Forest Products Equipment Industry*. EEUU. Disponível em: <http://www.usnr.com/>. Acesso em: 22 setembro 2018.