

Aplicação da metodologia TRIZ na inovação do equipamento de teste FRICTORQ

Rúben Carneiro¹ / Luís F. Silva¹ / Eurico Seabra¹ / Mário Lima¹ / Anabela Alves²

¹Departamento de Engenharia Mecânica - Universidade do Minho - 4800-058 Guimarães - PORTUGAL

²Departamento de Produção e Sistemas - Universidade do Minho - 4800-058 Guimarães - PORTUGAL

a53308@alunos.uminho.pt, {lffsilva, eseabra, mlima}@dem.uminho.pt, anabela@dps.uminho.pt

Área Científica - CT22 - Inovação Tecnológica e Desenvolvimento do Produto

Resumo

A TRIZ, acrónimo russo para teoria da resolução de problemas inventivos, é uma metodologia destinada à resolução de problemas, a qual procura criar uma forma sistemática de gerar novas soluções de projeto e de potenciar a criatividade individual. Esta metodologia foi criada e desenvolvida por Genrikh Altshuller nos anos 40 do Séc. XX na extinta União Soviética. Através do estudo de milhares de patentes, Altshuller descobriu que, independentemente da sua área, todas as tecnologias seguem os mesmos princípios e que estes podem ser aplicados na solução de novos problemas.

Neste artigo pretende-se demonstrar de que forma a metodologia TRIZ pode ser usada para inovar um equipamento desenvolvido no Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade do Minho destinado à medição do coeficiente de atrito em materiais flexíveis (apelidado de FRICTORQ). Através do estudo das leis de evolução para os sistemas tecnológicos descritos nesta metodologia pretende-se 'prever' quais os próximos (possíveis) caminhos de evolução deste equipamento e assim permitir a geração de novas ideias que possibilitem conceptualizar outras soluções inovadoras.

Palavras-chave: TRIZ; Inovação; Evolução de Sistemas tecnológicos; Criatividade; FRICTORQ

Introdução

Dos vários produtos criados pelo Homem, aqueles que, seguramente, estão mais tempo em contato direto com o ser humano são os produtos têxteis, sobretudo o vestuário, sendo o conforto um dos parâmetros importantes na escolha dos tecidos. No entanto, não existe uma forma objetiva de classificar o conforto, podendo este ser visto como uma combinação de vários aspetos, entre os quais se encontra a sensação de toque. Porém, quantificar o toque não é uma tarefa fácil, visto que a sua avaliação é, também ela, realizada de forma subjetiva. Na tentativa de avaliar mais objetivamente o toque, vários equipamentos e métodos de teste têm sido estudados e desenvolvidos nas últimas décadas, de entre os quais se destacam os que permitem a medição do coeficiente de atrito em estruturas e tecidos têxteis. Um desses sistemas é o equipamento de ensaio laboratorial FRICTORQ [1-6]. Este equipamento foi estudado, concebido, projetado, desenvolvido e construído no Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade do Minho.

O aperfeiçoamento de um equipamento nem sempre é uma tarefa fácil. Nesta fase será importante a aplicação de técnicas que possibilitem gerar novas ideias, para novos aperfeiçoamentos e/ou novos desenvolvimentos. A TRIZ apresenta-se como uma metodologia criada para auxiliar o processo de conceção de novas ideias. Neste sentido, entendeu-se que esta poderia ser a metodologia mais adequada para o aperfeiçoamento e o melhoramento do atual equipamento de ensaio FRICTORQ, na tentativa de se perspetivar, até, que novos tipos de funções auxiliares poderão ser desenvolvidas e aplicadas no FRICTORQ para permitirem outros tipos de medição, bem como outros tipos de ensaios.

FRICTORQ

O FRICTORQ (acrónimo das siglas inglesas 'FRICtion'+ 'TORQue'), é, como referido anteriormente, um equipamento de ensaio laboratorial desenvolvido no Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade do Minho para a medição do coeficiente de atrito em superfícies planas flexíveis, o qual se encontra protegido por patente portuguesa.

Este equipamento foi concebido para o ensaio de produtos têxteis, recentemente algumas alterações têm vindo a ser desenvolvidas de forma a torná-lo num equipamento de ensaio ainda mais versátil e destinado à realização de outro tipo de ensaios. Nos próximos subcapítulos serão descritas e resumidas as diferentes fases de desenvolvimento que este sistema tem vindo a sofrer, desde a fase inicial (FRICTORQ I) até à fase atual (FRICTORQ IV).

FRICTORQ I

O sistema FRICTORQ (figura 1) mede o atrito através de uma ação rotativa, usando um princípio semelhante a uma embraiagem de disco seco. Um motor de corrente contínua aciona um prato de suporte contendo uma amostra de tecido, sobre o qual é colocado um corpo de prova. Este é forçado a deslizar relativamente ao tecido, onde um sensor de binário, montado coaxialmente com este suporte, registará o binário reativo desse movimento relativo. Por fim, uma aplicação informática especificamente desenvolvida para este efeito converte o valor de binário medido num valor de coeficiente de atrito.

O corpo de prova superior foi desenvolvido para funcionar como um corpo “padrão”, garantindo uma determinada pressão de contato e velocidade linear [1-6]. Este corpo de prova superior foi construído de forma a acomodar dois tipos de superfície (ver Figura 2).



Figura 1 - O Equipamento FRICTORQ



Figura 2 - Corpos “padrão” utilizados no FRICTORQ I

Como já referido, este equipamento inclui uma aplicação informática responsável pelo comando e controlo da operação e do ensaio, e onde são apresentados graficamente, os valores do coeficiente de atrito. Estes dados podem ser gravados para posteriormente serem lidos e tratados estatisticamente por aplicações informáticas. É ainda possível registar outros dados complementares, como a temperatura, a humidade relativa, o código do ensaio realizado e o peso do corpo “padrão” usado no ensaio - ver figura 3.



Figura 3 - Interface da aplicação

FRICTORQ II

Esta versão do FRICTORQ, ao nível do seu funcionamento e das suas características, é quase semelhante à versão anteriormente apresentada. A grande alteração surge no corpo superior, que é colocado sobre as amostras (inferiores) a ensaiar. Este corpo de contato é agora restrito a três pequenos pés de apoio (ver figura 4), os quais distam entre si 120°.



Figura 4 - Corpo superior do FRICTORQ II

A verificação de que o corpo de contato superior, em forma de disco (ver configuração presente na figura 2), deslizava completamente por toda uma superfície do tecido já tinha sido testada (o qual poderia promover o alinhamento das fibras do tecido a ensaiar), surgiu esta nova configuração que se mostra na figura 4. Durante todo o ensaio, cada pé de apoio desliza apenas sobre uma nova superfície de tecido a ensaiar, evitando-se, desta forma, os inconvenientes referidos.

FRICTORQ III

Esta nova versão do FRICTORQ surgiu da necessidade de se realizar medições do coeficiente de atrito de tecidos na presença de meios líquidos, tendo os primeiros estudos sido dirigidos para a determinação dos coeficientes de atrito de tecidos usados na prática de desportos aquáticos. Para tal, foi modificada a base de suporte das amostras de tecido a ensaiar, para que pudesse ser acoplado um recipiente para a colocação de líquidos (ver figura 5), tendo havido, portanto, a necessidade de alteração dos materiais usados na construção do corpo superior para uma melhor resistência à corrosão do corpo superior de contato com as amostras.



Figura 5- A nova função auxiliar concebida para ser aplicada no FRICTORQ para a realização de ensaios com líquidos

FRICTORQ IV

Esta nova alteração no FRICTORQ serviu para o adaptar à necessidade de realização de ensaios na presença de emulsões ou cremes cosméticos. O seu princípio de funcionamento é em tudo semelhante às versões já aqui apresentadas. No entanto, e devido às propriedades dos cremes cosméticos, o corpo de prova (superior) deslocava-se na direção radial aquando

do movimento da base (inferior) de suporte da amostra a ensaiar. Como solução optou-se por alterar a barra de contato (em forma de “T” invertida - ver Figuras 1 e 5), entre a extremidade inferior do sensor de binário e o corpo superior, criando-lhe dois entalhes (ver figura 6), de forma a restringir o seu movimento.



Figura 6 - Barra de acoplamento do sensor de binário

Outra questão a ter em conta foi a necessidade de permitir que os ensaios pudessem replicar as características da pele humana. Para tal foi utilizada uma base de borracha de silicone (como se mostra na figura 7), colocada na base do recipiente da função auxiliar que se mostra na figura 5 [2].



Figura 7 - Base em borracha de silicone

A Metodologia TRIZ

O acrónimo russo, TRIZ, que pode ser traduzido como Teoria para Resolução de Problemas Inventivos, foi desenvolvida nos anos 40 do Século XX na extinta União Soviética (URSS), por Genrikh S. Altshuller e seus colaboradores, mas devido ao clima de guerra fria apenas nos anos 90 (ainda no Século XX) é que esta começou a disseminar-se e a ser conhecida um pouco por todo o mundo. Esta metodologia nasceu da determinação de Altshuller em descobrir os princípios por detrás dos processos criativos e de encontrar uma forma sistemática de inovar. Para tal, e durante anos, Altshuller e os seus colaboradores analisaram milhares de patentes. Com essa análise puderam observar que, independentemente, da área tecnológica, as soluções técnicas seguem um conjunto de regras gerais e de fundamentos comuns. Explorando essa premissa, Altshuller desenvolveu um conjunto de corolários, métodos e ferramentas que constituem a metodologia TRIZ [7].

Através do estudo dos sistemas tecnológicos, a TRIZ oferece as ferramentas para solucionar problemas técnicos, bem como métodos para ajudar inventores e projetistas a desbloquearem o processo criativo, ajudando a desenvolver novos conceitos ou a inovar conceitos já existentes [8].

Savaransky [7] define a TRIZ como “uma metodologia sistemática, orientada ao ser humano, baseada em conhecimento, para a solução inventiva de problemas”, o que define bem as vantagens da TRIZ. A sua estrutura organizada e metódica ajuda a abordar os problemas técnicos de uma forma focada e racional, uma vez que é baseada no conhecimento de patentes que já demonstraram o seu uso, permitindo obter soluções exequíveis. Esta apresenta-se como sendo uma metodologia bastante versátil, que pode ser usada por si só em todas as fases de projeto, ou complementarmente a outras metodologias, bem como individualmente ou em grupo [8]. Apesar de no seu todo ser uma metodologia vasta e aparentemente complexa, devido à sua abrangência, a TRIZ possui várias ferramentas, desde as mais complexas até às mais simples, passíveis de serem usadas por indivíduos sem qualquer formação especial nesta metodologia.

Inércia psicológica

A inércia psicológica é a “resistência” que o pensamento gera durante a criação de novas ideias e conceitos. Essa “resistência” ocorre devido ao conjunto de conceitos pré-definidos e

barreiras psicológicas na mente de um indivíduo. Estes estereótipos são incutidos desde a infância, de uma forma inconsciente, devido ao processo de assimilação e de aprendizagem. No entanto, durante a criação de soluções tecnológicas e no processo de inovação, é necessário criar novos conceitos ou reciclar conceitos já existentes.

Podem-se identificar três tipos de inércia psicológica, conforme a sua procedência. O primeiro tipo designa-se de inércia terminológica, e está associada aos conceitos e estereótipos associados a uma palavra. O ser humano exprime-se através de palavras e cada palavra tem a ela associado um conceito concreto. Quando se aplica uma palavra para definir um objeto ou um problema, está-se inconscientemente a associá-lo ao conceito dessa palavra, influenciando assim o pensamento a procurar soluções que são semelhantes a esse conceito. Para reduzir o efeito de inércia terminológica, devem-se aplicar termos genéricos [9]. O segundo tipo é a inércia de imagem. Esta ocorre porque, mesmo reduzindo a inércia terminológica, na mente já se criou um pré-conceito e uma imagem mental de algo semelhante a conceitos já existentes. Este tipo de inércia é a mais difícil de combater.

É através do conhecimento que se encontram soluções para um problema técnico. Geralmente, um indivíduo possui largos conhecimentos apenas numa área da ciência ou da tecnologia, o que o leva a procurar soluções tendencialmente nessa área, quando no entanto se poderiam obter melhores soluções aplicando outras áreas de conhecimento. Este é o último tipo de inércia psicológica - a inércia devido à especialização. Quanto maior for o nível de especialização maior será a influência deste tipo de inércia psicológica. Para reduzir este tipo de inércia, deve-se procurar a familiarização, tanto quanto possível, com termos e conhecimentos de outras áreas, bem como criar equipas multidisciplinares.

Sistema tecnológico

Um sistema tecnológico é um conjunto de componentes necessários para realizar uma determinada função necessária, denominada de função principal. Se a função for a mesma, mas utilizar um efeito ou um princípio físico diferente para a realizar, este deve ser considerado como um sistema diferente. O sistema engloba-se num ambiente e num contexto mais abrangente, o qual se designa de supersistema, e é constituído por vários sistemas. Cada sistema é composto por outros sistemas designados por subsistemas. Os subsistemas podem também eles ser constituídos por vários subsistemas e assim sucessivamente. Cada subsistema pode assim ser analisado como sendo ele próprio um sistema ou um supersistema, dependendo do nível em que se efetua a análise.

Um dos aspetos que a TRIZ define, é que a interação entre componentes, ou subsistemas, cria conflitos entre eles, o que gera efeitos indesejados e que, comumente, obriga a compromissos entre parâmetros. A estes conflitos a TRIZ designa de contradições. Existem três tipos de contradições que se podem encontrar num sistema [9].

As contradições administrativas são conflitos entre o sistema e o supersistema, que podem ser explicadas como a oposição entre a capacidade ou desempenho que um sistema consegue fornecer e aquele que a sociedade pretende ou precisa. Desta diferença surge uma nova necessidade que impulsiona o desenvolvimento do sistema.

A contradição física ocorre quando um componente ou subsistema, para executar a sua função, requer que uma grandeza tenha dois estados opostos (por exemplo: Quente/Frio, Grande/Pequeno)

As contradições técnicas surgem quando o melhoramento de um dado parâmetro ou função implica que um outro parâmetro seja deteriorado (por exemplo: o aumento da potência de um motor implica um aumento das suas dimensões).

Para este tipo de problemas, as soluções triviais passam pelo compromisso entre os dois aspetos da contradição. Embora este tipo de abordagem permita que os sistemas realizem uma função, na realidade não correspondem a um desenvolvimento; este só ocorre quando uma contradição é resolvida. Um dos grandes contributos de Altshuller para a solução de contradições foi a descoberta que, em problemas de Engenharia, estão envolvidos 39 parâmetros gerais, aos quais designou de parâmetros de engenharia, e que as soluções técnicas enquadram-se em 40 princípios (Tabela 1). Esses servem como soluções genéricas, que quando aplicadas indicam possíveis formas de solucionar um dado problema [9].

Tabela 1 - Os 40 princípios de TRIZ segundo Altshuller [10]

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

Retrospeção do FRICTORQ à luz da TRIZ

Como já foi referido, o FRICTORQ é um equipamento que vem sofrendo diversas modificações desde a sua primeira versão. Tais modificações foram sendo desenvolvidas e implementadas sem recurso às técnicas da TRIZ ou sem que os intervenientes no seu desenvolvimento tivessem conhecimentos sobre este tipo de metodologias. No entanto, uma pequena análise dessa evolução, à luz desta metodologia, permite conferir que alguns dos seus princípios foram aplicados de uma forma “inconsciente”, o que ajuda a demonstrar, por outro lado, como estes princípios são aplicáveis. Estes princípios serão agora enumerados e explicados, realizando-se uma análise, do ponto de vista da TRIZ, sobre todos os desenvolvimentos efetuados até agora sobre o FRICTORQ.

Princípios inventivos

Os princípios inventivos representam uma lista de 40 sugestões de caminhos possíveis para a solução de um problema. Durante o desenvolvimento do FRICTORQ alguns destes princípios foram utilizados de forma “inconsciente”, mas tendo, todavia, como princípio orientador a procura de uma solução capaz e adequada para a resolução de um problema proposto.

O princípio inventivo da segmentação (princípio 1) refere que a solução para um problema pode ser conseguida pela divisão de um sistema ou componente em partes individuais ou secções. Isto pode ser encarado na mudança do corpo de contato superior quando este passou de um disco simples (de forma anular) para um sistema com três pés de apoio, ou seja, segmentou-se o disco em três partes independentes. Este princípio acrescenta ainda que se um objeto é por si segmentado pode também aumentar o nível de segmentação. Tal facto pode ser visto também no corpo de contato, uma vez que cada apoio foi segmentado em pequenos corpos cilíndricos.

Outro princípio inventivo usado no desenvolvimento do FRICTORQ foi o princípio da recurvação (princípio 14). Este menciona que uma solução pode ser obtida pela substituição de partes lineares por partes curvas, como cilindros, esferas ou elementos em forma de espiral. Como foi referido anteriormente, os apoios são constituídos por pequenos cilindros (partes curvas) que substituem o disco anular, o qual, embora seja curvo, no plano de ação pode ser visto com linear.

Aquando da aplicação do FRICTORQ à determinação do coeficiente de atrito na presença de emulsões ou cremes cosméticos, foram criados dois entalhes na barra (invertida, em forma de “T”) do sensor de binário, para que este pudesse encaixar nos pinos do corpo superior de contato com os cremes a serem ensaiados com a borracha de silicone. Tal modificação pode

ser vista agora como a aplicação do princípio inventivo da assimetria (princípio 4). Este princípio esclarece que adaptar a forma de um sistema de modo a combiná-la com a geometria externa pode ser um possível caminho de solução. Neste caso concreto modificou-se a forma do sistema (barra) através da criação de dois entalhes, de forma a combinarem com a geometria exterior (pinos do corpo superior de contato).

Tendências de evolução

As tendências ou leis de evolução técnica são um conjunto de oito tendências de desenvolvimento gerais, às quais um sistema tecnológico poderá experimentar ao longo do tempo. Essas tendências podem ser divididas em sub-tendências, que representam fases mais específicas para o cumprimento da tendência principal. No entanto, nem todas as fases são aplicáveis a um sistema específico.

De seguida serão enumeradas as tendências gerais e a forma como estas mesmas tendências se encontram na evolução do equipamento FRICTORQ:

1. Aumento da idealidade: Os sistemas tendem a aumentar a sua idealidade, ou seja, a melhorar a relação entre os benefícios e os malefícios.

As modificações realizadas no corpo superior de contato anular permitiram reduzir o efeito indesejado do alinhamento das fibras dos tecidos a ensaiar (malefício), sem aumentar a complexidade do sistema ou criar mais efeitos negativos, o que corresponde a um aumento da idealidade do sistema.

2. Ciclo de vida: Os sistemas evoluem em quatro fases distintas: infância, crescimento, maturidade e declínio. A cada fase estão associados comportamentos típicos.

O facto do FRICTORQ conseguir realizar medições do coeficiente de atrito com uma boa exatidão e reprodutibilidade são sinais de uma boa execução da sua função principal (medir o coeficiente de atrito). Esta é uma característica típica das fases mais tardias da evolução de um sistema.

A incorporação de novas funcionalidades, como a medição em meios líquidos, bem como a procura de outras áreas de ação (indústria cosmética), são, também, sinais tipicamente encontrados em sistemas que se encontram nesta fase da sua evolução. No entanto, o crescimento da sua popularidade e difusão ainda é residual, o que não seria expectável num sistema que se encontra nesta fase. Assim, não se pode precisar se o sistema se encontra na primeira ou segunda fase do ciclo de vida. Visto que estas fases não são de forma nenhuma estanques, pode-se ainda estar perante um período de transição entre as mesmas.

3. Aumento da segmentação: Os sistemas tendem a tornar-se mais pequenos e divididos em partes menores.

Veja-se a análise feita anteriormente relativamente aos princípios inventivos.

4. Evolução desigual de sistemas: Os subsistemas que compõem um sistema evoluem a ritmos diferentes, e, portanto, encontram-se em fases diferentes da sua evolução, o que provoca conflitos entre eles. O sistema como um todo evolui ao ritmo do subsistema menos desenvolvido.

No caso do FRICTORQ, tal tendência pode ser observada pelo facto das evoluções sofridas até agora recaírem, maioritariamente, sobre o corpo superior de contato e sobre a base inferior de suporte das amostras, tendo os restantes subsistemas sofrido poucas ou nenhuma alterações.

5. Coordenação e desfasamento de subsistemas: Os subsistemas e as funções do sistema tendem a sincronizar-se.

6. Automatização: Os sistemas tendem a reduzir a necessidade de intervenção humana.

7. Expansão e convulsão: Os sistemas tendem a tornarem-se mais complexos, através do acréscimo de novas funções e subsistemas (período de expansão) e posteriormente mais simples (período de convulsão) devido à combinação de subsistemas em novos subsistemas capazes de realizar ambas as funções. Uma vez simplificado, o ciclo reinicia-se.

O sistema FRICTORQ é, em oposição a outros sistemas, um sistema bastante simples. Contudo, a introdução de novas funcionalidades, como a sua aplicabilidade em meios líquidos, demonstra já um início do aumento da complexidade.

8. Aumento do dinamismo e controlabilidade: Os sistemas tendem a tornar-se mais dinâmicos e flexíveis, o que acarreta também um aumento da controlabilidade do sistema.
9. Análise de potencial de evolução

No capítulo anterior refletiu-se à luz da TRIZ que tendências de evolução foram seguidas no desenvolvimento do FRICTORQ. Este capítulo debruça-se agora sobre as tendências de evolução para tentar vislumbrar alguns possíveis caminhos que permitam continuar a desenvolver este equipamento de ensaio.

Da análise do ciclo de vida realizada, e partindo da premissa que o sistema se encontra entre o final da primeira e o início da segunda fase, três formulações podem ser tidas em consideração. Embora partindo de diferentes princípios, estas não necessitam de ser, obrigatoriamente, mutuamente exclusivas.

A primeira formulação é que o sistema se encontra no início da segunda fase de evolução, mas o crescimento da sua difusão não é ainda perceptível no período de tempo atual. Perante esta hipótese, a evolução a curto prazo do sistema poderá passar não só pelo melhoramento do desempenho da função principal, mas também na introdução de novas funcionalidades, bem como a sua aplicação em outras áreas, como têm vindo a acontecer.

A segunda situação possível é a do sistema estar num impasse. A sua difusão é baixa, porque a função que o sistema realiza, embora com um bom desempenho, não vai de encontro às reais necessidades da sociedade. Neste caso, dever-se-á analisar o sistema de um novo ponto de vista e tentar quebrar a inércia psicológica que o atual sistema acarreta. Nesta hipótese, o problema poderá ter origem no foco que ocorreu durante o seu desenvolvimento, em designá-lo como sendo um equipamento para a medição do coeficiente de atrito. A descrição referida pode estar a incutir uma forte influência da inércia terminológica associada ao termo coeficiente de atrito. Essa influência pode estar a “dissimular” a verdadeira função do FRICTORQ, que é a de quantificar, de forma objetiva, a sensação de toque e de conforto proporcionada por materiais têxteis. Tal sensação vai mais além do que apenas a medição do coeficiente de atrito, podendo assim ser necessário controlar novos parâmetros, ou modificar a interação que o sistema tem com o supersistema, de forma a criar um elo entre coeficiente de atrito e sensação de toque.

Por fim, a última formulação que pode ser proposta é que o sistema se encontra no final da primeira fase. Nesta situação, para que ocorra o salto para a segunda fase, a sociedade deve estar disposta a aceitar os custos e efeitos indesejados associados ao sistema, para a obtenção dos benefícios da função principal (medir coeficiente de atrito). Para tal, é necessário continuar a melhorar o seu desempenho, sendo este o foco principal do projeto nesta fase. Porém, algumas funções podem ser adicionadas embora não constituam a prioridade no desenvolvimento do sistema.

No que respeita a automatização, algumas das variáveis a considerar na medição do coeficiente de atrito são a humidade e temperatura do ar. Como estas são introduzidas manualmente, a incorporação de sistemas que registem automaticamente essas variáveis pode ser vista como uma forma de aumentar a automatização do sistema.

Relativamente a expansão e convulsão: o FRICTORQ é um sistema bastante simples, logo a tendência principal será para o aumento da complexidade, que poderá passar pela incorporação de novos subsistemas, que permitam novas funcionalidades. Para se encontrar essas funcionalidades dever-se-á analisar o supersistema em que se encontra (Indústria Têxtil), e quais as necessidades que ele requer (analisar objetivamente os tecidos produzidos, do ponto de vista das suas propriedades físicas e do conforto). Importa ainda perceber que funções podem ser necessárias, ou funções de outros sistemas, pertencentes ao supersistema, que possam vir a ser incorporadas. Desta reflexão, facilmente se apercebe de algumas hipóteses, tais como: incorporar sistemas de análise de desgaste e de desbotamento do tecido, sistemas de medição de propriedades físicas (por exemplo: deformação ou rugosidade) e sistemas que possibilitem analisar propriedades térmicas.

Embora simples, não se pode desconsiderar, a priori, a possibilidade de simplificar ainda mais o sistema. Portanto, deve-se procurar subsistemas que possam ser combinados. Alguns candidatos típicos são: elementos com funções diferentes sobre o mesmo objeto, elementos com funções em cadeia entre eles, elementos com funções opostas, elementos de elevado valor, elementos de estrutura semelhante e elementos próximos. Ao refletir-se sobre estas características, dois elementos encaixam-se nessa descrição: o motor e o sensor de binário.

Assim, uma possível forma de simplificar ainda mais o sistema, será criar um sistema integrado de medição de binário no próprio motor utilizado para o acionamento do suporte inferior, através da diferença de tensão medida no próprio motor.

Por fim no que toca ao aumento do dinamismo e controlabilidade: atualmente o FRICTORQ é muito rígido quanto às condições em que realizam as medições (velocidade constante, pressão constante, um sentido de movimento, entre outras...). Um potencial caminho de desenvolvimento pode passar pela incorporação de sistemas que permitam realizar os ensaios em diferentes condições. Poder-se-á começar com variações por estados discretos, posteriormente variações numa gama contínua de valores, e, por fim, variar as condições em tempo real durante o próprio ensaio.

A substituição do motor atualmente utilizado por um motor de passo poderá ser uma boa alternativa, uma vez que estes permitem controlar a sua posição e velocidade. Outra vantagem da aplicação deste tipo de acionamento é a eliminação da necessidade de redutores, o que leva também a uma simplificação do sistema.

Conclusões

No trabalho aqui apresentado, procedeu-se a uma breve análise da evolução ocorrida pelo FRICTORQ até a data. De seguida aplicaram-se alguns dos paradigmas das metodologias TRIZ para o estudo do potencial evolutivo, bem como de possíveis caminhos para a evolução deste sistema.

Constatou-se assim que o FRICTORQ encontra-se numa fase importante da sua evolução. O sistema é bastante simples, e a sua capacidade de medir de uma forma fidedigna o coeficiente de atrito, pode dar a ideia de que este sistema se encontra numa fase de estagnação da sua evolução. No entanto, uma análise mais sólida e pragmática demonstra alguns caminhos possíveis de serem explorados no futuro, com especial enfoque na criação de uma ponte, entre a medição de coeficiente de atrito e a quantificação da sensação de conforto, e no aumento do número de diversas funcionalidades.

Referências

- [1] Lima, M., Hes, L., Silva, L.F., Vasconcelos, R. & Martins, J. FRICTORQ, Tribómetro para Avaliação Objectiva de Superfícies Têxteis. *Proceedings of III Congresso Ibérico de Tribologia - IBERTRIB '2005*, Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Guimarães, 16-17 Jun 2005.
- [2] Macedo, D., Lima, M., Silva, L.F., Vasconcelos, R., & Seabra, E. FRICTORQ: Evaluation of Friction Coefficient in the Presence of Cosmetic Creams. *Proceedings of TRS 2012 - The 41st Textile Research Symposium*, Guimarães, Portugal, 12-14 Sep 2012.
- [3] Lima, M., Silva, L.F., Seabra, E., & Vasconcelos, R. FRICTORQ, design and development of an add-on function to measure fabric friction in a liquid environment. *Proceedings of XIV IC on Project Engineering*, Madrid, Spain, 30 Jun-2 Jul 2010.
- [4] Lima, M., Silva, L.F., Vasconcelos, R., & Cunha, J. FRICTORQ - Instrumento para a Medição Objectiva do Atrito em Têxteis, *Proceedings of Engenharias'2007 - Inovação & Desenvolvimento*, Covilhã, Portugal, 21-23 Nov 2007.
- [5] Lima, M., Silva, L.F., Vasconcelos, R. & Carneiro, A. FRICTORQ, Mechatonic Design for the Objective Measurement of Friction in 2D Soft Surfaces. *Proceedings of 1st International Conference on Innovations, Recent Trends and Challenges in Mechatronics - Mechanical Engineering and New High-Tech Products Development*, Bucarest, Romania, 8-9 Out 2006.
- [6] D. Macedo. FRICTORQ®: Avaliação do coeficiente de atrito na presença de cremes cosméticos. Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, 2012.
- [7] S.D. Savaransky. *Engineering of Creativity (Introduction to TRIZ Methodology of Inventive Problem Solving)*, CRC Press, 2000.
- [8] D. Mann, & S.Dewulf. *TRIZ Companion*, Creax Press, 2002.
- [9] Y. Salamatov. *TRIZ the right solution at the right time: A guide to innovative problem solving*, 2nd ed, Insytec, 2002.
- [10] G. Altshuller. *And suddenly the inventor appeared: TRIZ the theory of inventive problem solve*, Technical Innovation Center, 1996.