

# **Fórum** de apresentação de resultados de pesquisas: **avanços e oportunidades**

**23 de setembro de 2014**  
Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna/SP

## **DESENVOLVIMENTO DE MOTOR MULTI-COMBUSTÍVEL DE BAIXA TECNOLOGIA PARA MÚLTIPLAS UTILIDADES AGRÍCOLAS**

**Chaim, A.; Wadt L.G. R.; Gattaz N. C.; Tordin, M.C.**

<sup>1</sup>Embrapa Meio Ambiente

### **Problema abordado**

Um protótipo de pulverizador hidráulico eletrostático costal, que reduz sensivelmente o consumo de agrotóxicos, foi desenvolvido na Embrapa Meio Ambiente. O equipamento funcionava com baterias entre 6 e 12 V que se desgastavam rapidamente. Se fossem utilizadas baterias não recarregáveis o seu custo poderia inviabilizar o uso do processo eletrostático em comunidades carentes e, além disso, poderia provocar algum tipo de impacto se descartadas no meio ambiente.

O acesso à eletricidade também tem dificultado o manejo da água em piscicultura, a adoção de práticas simples de irrigação ou mesmo o bombeamento de água para consumo humano. Motores de combustão interna à gasolina e diesel, funcionam apenas com combustíveis voláteis, emitindo uma ampla gama de poluentes para a atmosfera. Como o motor ciclo Stirling apresenta combustão externa, com ampla gama de combustíveis renováveis, estes podem ser utilizados para o seu funcionamento, resultando em emissões de gases muito mais limpos que o motor de combustão interna. Além de poder utilizar combustíveis renováveis sólidos, o próprio calor do sol se apresenta como a forma mais econômica de acionamento do motor.

### **Objetivo Geral**

Verificar em condições de campo, a viabilidade de protótipos de motor multi-combustível de ar quente, desenvolvidos com baixo aporte de tecnologia, para uso como moto-gerador para carregar bateria de pulverizador eletrostático costal e em moto-bombas de água para pequenas propriedades rurais.

## **Objetivos Específicos**

- 1) Desenvolver e avaliar protótipo de motor multi-combustível com pistões e cilindros, adequadamente dimensionados para acionar gerador elétrico ou bomba d'água, em condições de campo.
- 2) Desenvolver motor com tecnologia simples e avaliar o seu funcionamento em condições de campo.

## **Principais contribuições**

No dia 23 de agosto de 2012, junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), foi depositado o pedido de patente intitulado "ARQUITETURA DE MOTOR STIRLING DE ALTO DESEMPENHO". O referido pedido de patente recebeu o seguinte código do INPI: BR 10 2012 021220 0. Essa invenção faz referência a motores do ciclo Stirling com adaptações específicas para redução de atritos entre pistões e cilindros, bem como um novo sistema de auto pressurização para elevação de potência.

Durante o desenvolvimento dos motores, foram realizados ensaios com o objetivo exclusivo de testar a redução de atritos proporcionados por sistemas de articulação bielas/pistões/virabrequim. Não houve nenhuma preocupação em otimização de potência através da utilização de regeneradores e aumento de pressão de trabalho.

O comportamento de mecanismos de articulação bielas/virabrequim foi comparado entre dois protótipos de motores, desenvolvidos sem pressurização e regenerador de calor, com baixo rendimento, sendo o primeiro deles baseado em mecanismo triangular de articulação conhecido. O modelo com mecanismo conhecido, possuía pistão de potência de 80 mm, guiado por haste metálica, que transpassava uma bucha, solidária ao centro do respectivo cilindro, com finalidade única de centralizar o pistão em relação ao cilindro. O virabrequim possuía distância entre centros dos eixos da manivela de 15 mm, para permitir, através do mecanismo triangular articulador das bielas/virabrequim, um curso aproximado de 45 mm para o pistão de potência e pistão deslocador. A potência do motor foi verificada através do Freio de Prony, adaptado com haste tubular de alumínio de 50 cm e sapatas de madeira, para uma rotação obtida com temperatura de aquecimento de 400°C e refrigeração a água de 60°C. A pressão do atrito foi verificada com balança de precisão Marte PL500, com escala entre 0 e 500g, com resolução de 0,001g. O aquecimento foi realizado através de resistência elétrica com potência de 450 Watts. A temperatura de aquecimento e refrigeração foi verificada externamente ao cilindro de expansão, com termômetro infravermelho Minipa MT-390 com escala entre 0 e 1000°C, com resolução de 1°C. A rotação de funcionamento foi verificada com Tacômetro de Contato Digital Minipa MDT-2238A.

Após a realização dos testes, o primeiro protótipo foi desmontado e suas peças reaproveitadas para construção do segundo protótipo, com mecanismo de articulação de biela com alavanca guia da patente atual. Isso exigiu a construção de um novo virabrequim com distância entre centros de eixos da manivela de 2,25 mm. Os resultados dos ensaios são apresentados na tabela, que também inclui alguns dados obtidos com equações matemáticas conhecidas:

**Resumo de resultados dos ensaios realizados com os motores:**

Motores	Conhecido	Patente atual	
Diâmetro do pistão de potência	80	80	mm
Altura do pistão de potência	20	20	mm
Curso do pistão de potência	45	45	mm
Diâmetro do pistão deslocador	85	85	mm
Altura do pistão deslocador	180	180	mm
Curso do pistão deslocador	45	45	mm
Folga anular entre pistão e cilindro de expansão	1	1	mm
Volume morto do espaço quente	5	5	cm <sup>3</sup>
Volume morto do espaço frio	5	5	cm <sup>3</sup>
Temperatura de aquecimento	400	400	°C
Temperatura de refrigeração	60	60	°C
Potência elétrica oferecida para aquecimento	450	450	Watts
Relação de temperatura	2,02	2,02	
Pressão de trabalho	1	1	atm
Pressão Máxima	1,55	1,55	atm

Pressão mínima	0,64	0,64	atm
Relação de pressão	2,42	2,42	
Volume máximo	484	484	cm <sup>3</sup>
Volume mínimo	258	258	cm <sup>3</sup>
Relação dos volumes	1,88	1,88	
Massa do ar de trabalho	0,29	0,29	g
Rotação do motor	360	480	rpm
Potência verificada para os motores	42	56	Watts
Eficiência da conversão térmica (Potência de aquecimento/Potência do motor)	9	12	%

Concluiu-se que o mecanismo de articulação bielas/pistões/virabrequim proposto na invenção proporciona reduções de atritos, aumentando a rotação, potência e eficiência de conversão de calor em 25%. Ressalta-se que o motor aperfeiçoado, funcionou em pressão ambiente, ou seja, de uma atmosfera e por esse motivo a sua potência ficou em torno de 56 Watts. Mas o protótipo de 56 Watts poderá teoricamente atingir 745 Watts (aproximadamente um HP) em pressão de trabalho de 13,3 atmosferas (aproximadamente 195 lb/pol<sup>2</sup>), se mantiver a rotação em 480 rpm com aquecimento de 400°C. Essa potência poderá ser obtida com redução de 25% no consumo de energia com a utilização do mecanismo da patente de invenção. A tecnologia desse motor está sendo repassada através de contrato de Cooperação Técnica para a Empresa SNT Maquinas Industriais Ltda localizada em Jaú-SP.

## **Impactos**

### **Social**

Considerando o aspecto social com a aplicação do método Ambitec, a tecnologia poderá refletir impacto positivo no indicador “capacitação”, para produtores rurais que poderão ser

treinados para uso ou construção de seus equipamentos, bem como para funcionários de micro, pequenas e médias empresas os quais poderão fabricar motores com ferramentas mais sofisticadas. Neste contexto, o indicador “oportunidade de emprego” também será positivo, graças ao baixo custo de produção e a multiplicidade de utilização do produto dentro da sociedade, proporcionando diversificação de produção dentro de pequenas empresas ou indústrias. Esse fato proporcionaria empregos em quase todos os segmentos produtivos (indicador de “oferta de emprego”). Como consequência a “geração de renda” e “diversidade de fonte de renda” apresentarão impactos positivos não só para os usuários da tecnologia, mas também para os fabricantes e seus funcionários. Considerando o indicador “valor da propriedade” a tecnologia possibilitará acesso à energia elétrica bem como a pequenos projetos de irrigação com uso de energia alternativa, assim essas benfeitorias terão impacto positivo. Esse indicador também será positivo para casos de empresas urbanas que poderiam diversificar a oferta de seus produtos. O aspecto de “segurança e saúde ocupacional” tem alto coeficiente de impacto positivo, considerando que, em muitas regiões do Brasil, a única água disponível é coletada durante períodos chuvosos e armazenado em cisternas ou cacimbas. Na maioria dos casos a forma de retirada da água promove contaminação do líquido, além do grande esforço físico necessário para elevá-la para fora do reservatório. Um pequeno motor multi-combustível com bomba d’água facilitaria a retirada da água e evitaria a contaminação do reservatório. Isso facilitaria a utilização de caixas d’água elevadas melhorando inclusive os aspectos de higiene pessoal das pessoas sem acesso a essa benfeitoria. A água livre de agentes patogênicos teria impacto altamente positivo no indicador “segurança alimentar”. Considerando que o motor funciona com resíduos vegetais combustíveis, principalmente os de difícil degradação, como cascas e cavacos de madeira, bem como esterco seco ou biogás oriundo de fermentação de diferentes dejetos orgânicos, entre outros, o indicador “disposição de resíduo” será positivo, transformando um problema numa fonte de energia. Considerando a ponderação dos indicadores dos quatro aspectos (emprego, renda, saúde e gestão/administração) simulados e analisados na avaliação de impacto social, o impacto positivo atinge um valor médio de 4,66.

Com simulação do método Ambitec para avaliação de Impacto Ambiental (Ambitec–Agricultura) da tecnologia o Índice Geral de Impacto atinge um valor de 2,47. Contudo, considerou-se apenas alguns indicadores no aspecto eficiência tecnológica tais como “uso de energia” e “recursos naturais”, que obtiveram elevados índices de impacto positivo. Em conservação ambiental o indicador que se destaca é a “atmosfera” porque a tecnologia utiliza combustíveis renováveis e, além disso, poderá funcionar exclusivamente com calor solar.

## **Econômico**

**Impacto econômico indireto:** redução do custo das aplicações de agrotóxicos.

**Impacto econômico direto:** o motor funciona com combustível fartamente disponível nos meios rurais, eliminando gastos, por exemplo, com energia elétrica ou outros combustíveis em pequenos projetos de irrigação. Em muitos casos, o produtor até dispõe de energia elétrica, mas, por exemplo, ela não está disponível no local onde ele necessita colocar uma bomba d'água. Devido a elevada multiplicidade de utilização de um pequeno motor multi-combustível na agricultura ou na área urbana, os impactos econômicos da tecnologia são altos, mas quantitativamente imprevisíveis.

## **Ambiental**

A tecnologia proposta possibilitaria a utilização de pulverizador eletrostático costal, que reduziria a perda de agrotóxicos para o solo, aumentando a deposição nas plantas, possibilitando uma redução no número de pulverização necessária para o controle fitossanitário.

Como o motor funciona com qualquer tipo de combustível renovável o balanço de emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera seria nulo. Entretanto, futuramente, o impacto poderá ser positivo, se o motor for acionado por dispositivo concentrador de calor solar.

## **Literatura recomendada**

SUNPOWER INC. W. T. Beale; D. M. Berchowitz. **Stirling engine power regulation system**. US n. 4 805 408. 21 Feb. 1989.

EMBRAPA. Aldemir Chaim. **Pulverizador pneumático eletrostático costal acionado por alavanca manual**. BR n. PI 8805580. 25 out. 1994.

EMBRAPA. Aldemir Chaim. **Processo de indução eletrostática para geração de gotas com carga elétrica para bocais de pulverização de baixa pressão e grande volume de ar**. BR n. PI 9902918-9. 12 jul.1999.

NASA. **Thermo-mechanical systems branch-stirling.** Disponível em: <<http://www.grc.nasa.gov/WWW/tmsb/stirling.html>>. Acesso em: 5 mar. 2007.

SHARP KK(SHAF-C); OKANO, S.; TNAKA, S.; UEDA K.; KITAMURA, Y. S. OKANO; S. TNAKA; K. UEDA; Y. KITAMURA; J. UEDA. **Stirling engine and stirling refrigerador, comprises pressing chamber at gas flow outlet port are primary porous body having large void diameter, secondary porous body having small void diameter, and ring for fixing two porous bodies.** US n. 6 945043-B2. 20 Sept. 2005.

REITHOFER, K. K. REITHOFER. **Device for driving and controlling free=piston stirling engine - has system pressure between cold and warm cylinder chambers which when exceeding max. value, it is injected in high pressure reservoir, and when falling below min. pressure value, it is filled up from low pressure reservoir.** US n. 8878570-A. 9 Mar. 1995.

SHARP KK(SHAF-C); SAKAMOTO,J.; YOSHIMURA, K.; TAKAI, K.; YAMAGAMI, S.; KITAMURA, Y.; YASAMURA, H.; OHNO, H. J. SAKAMOTO; K. YOSHIMURA; K. TAKAI; S. YAMAGAMI; Y. KITAMURA; H. YASAMURA; H. OHNO. **Stirling engine has displacer arranged to reciprocate along with piston whose vibration is prevented by removing spring responsible for it.** US n. 7168248-B2. 30 Jan. 2005.

SHIMIZU K.; NISHI, N.; MURAKAMI, H.; HOSONO T. K. SHIMIZU; N. NISHI; H. MURAKAMI; T. HOSONO. **Stirling engine for Stirling refrigerator, has collision sensor that detects danger of collision of at least one of piston and displacer based on temperatures of expansion and compression chambers and input current used to drive piston.** US n. 7257949-B2. 21 Aug. 2005.

SOLO. **Art of technology:** solo and stirling. Disponível em: <<http://www.stirling-engine.de/engl/index.html>>. Acesso em: 5 mar. 2007.

STIERHOF, H. **The moving cylinder stirling engine.** Disponível em: <<http://members.aol.com/hstierhof/index.html>>. Acesso em: 5 mar. 2007.

STIRLING Systems. Disponível em: <<http://www.stirling-systems.com/en/home.html>>. Acesso em: 6 mar. 2007.