

Contexto científico do emprego do etanol em motores ciclo Otto

Joelson Almeida Bilhão (Universidade Federal de Santa Maria) jbilhao@ufsm.br

Patrícia Schrippe (Universidade Federal de Santa Maria) pschrippe@gmail.com

Mario Eduardo Santos Martins (Universidade Federal de Santa Maria) mario@mecanica.ufsm.br

Resumo:

O objetivo deste artigo é realizar um estudo bibliométrico acerca do emprego do etanol em motores a combustão interna. Pesquisas recentes têm mostrado que não existirá uma fonte única de energia no futuro, mas que esta será bastante diversificada, com alternativas locais específicas. Dessa forma realizou-se um apanhado do funcionamento dos motores térmicos, ciclos termodinâmicos de operação e do uso do etanol combustível, uma vez que o Brasil tem larga experiência de uso intenso de etanol como combustível para motores automotivos e questões como a da mobilidade sustentável surgem como um desafio às políticas ambientais e urbanas num cenário de desenvolvimento em que as crescentes taxas de urbanização tem implicado num aumento expressivo da frota de veículos e nas emissões de poluentes. Sendo o etanol um combustível renovável e neutro do ponto de vista de emissões de carbono, seu uso é altamente desejável. Buscas foram realizadas no portal Capes no processo de coleta e filtragem dos dados, considerando apenas publicações em periódicos, dos temas etanol e motores, no período de 2009 a 2014. Tais buscas retornaram 138 artigos em revistas. Após a exclusão de artigos cujo foco principal era em outros combustíveis, obteve-se 54 artigos os quais, 36 foram selecionados (26,09% dos artigos iniciais); pois esses de fato, apresentavam contribuições científicas na área conjunta de etanol e motores.

Palavras chave: Etanol, Mobilidade sustentável, motores de combustão interna, Análise bibliométrica.

Scientific context of the use of ethanol in Otto cycle engines

Abstract

The objective of this paper is to perform a bibliometric study on the use of ethanol in internal combustion engines. Recent research has shown that not there will be a single source of energy in the future, but this will be quite diverse, with specific local alternatives. Thus there was a glimpse of the working of engines, thermodynamic cycles of operation and use of fuel ethanol, since Brazil has extensive experience of intense use of ethanol as a fuel for automotive engines and issues such as sustainable mobility arise as a challenge to environmental and urban development policies in a scenario where increasing rates of urbanization has meant a significant increase in the vehicle fleet and emissions of pollutants. Being a renewable fuel ethanol and "neutral" in terms of carbon emissions, its use is highly desirable. Searches were conducted in Capes portal in collection and data filtering process, considering only publications in journals of ethanol engines and themes in the period 2009 to 2014. These searches returned 138 articles in magazines. After excluding articles whose primary focus was on other fuels, was obtained which 54 articles, 36 were selected (26.09% of the initial articles); because these actually had scientific contributions in the joint area and ethanol engines.

Key-words: Ethanol, Sustainable mobility, Internal combustion engines, Bibliometric analysis.

1. Introdução

O desenvolvimento humano, industrial e empresarial é historicamente atrelado à utilização e exploração de recursos minerais, fornecedores de matéria-prima das mais diversas, incluindo combustíveis (YANG, ZHOU, JACKSON, 2014). Atividades humanas, tais como, as queimas de combustíveis fósseis são a maior fonte de produção de gases de efeito estufa e, portanto, mudança climática. Se ações não forem tomadas, espera-se um aumento na temperatura superficial do globo terrestre de 1,4°C a 5,8°C até o ano de 2100 e com uma consequente elevação do nível dos oceanos entre 9 cm e 88 cm, decorrente do derretimento da calota polar (AGNEW, 2001).

Pesquisas recentes têm mostrado que não existirá uma fonte única de energia no futuro, mas que esta será bastante diversificada, com alternativas locais específicas, geralmente em se tratando de combustíveis renováveis, muito dependentes do clima, solo, geografia, fatores políticos (AHMED; CAMERON, 2014; ELLABBAN, ABU-RUB, BLAABJERG, 2014). Neste contexto, o Brasil se insere muito bem, possui um alto potencial relativo às energias renováveis como hidráulica, eólica, solar e biomassa (MARTINS, ABREU, PEREIRA, 2012; GOMES et al., 2013).

Quanto a combustíveis para motores automotivos, o etanol apresenta papel de destaque no território nacional. Rael et al. (2014) apontam que, os programas para a produção de etanol iniciaram timidamente em 1927, quando a primeira bomba de etanol foi instalada para abastecer veículos para a população civil. Os autores complementam que, apenas em meados dos anos 70, com forte colaboração do valor da gasolina (Crise do Petróleo), a frota automotiva brasileira fez uso do etanol em larga escala.

O Brasil lidera a produção mundial de cana-de-açúcar (principal matéria-prima do etanol), sendo essa uma indústria que movimenta vários bilhões de dólares por ano, representando assim, uma menor dependência do Brasil ao petróleo.

O etanol é o mais comum dos álcoois e caracteriza-se por ser um composto orgânico, obtido através da fermentação de substâncias amiláceas ou açucaradas, como a sacarose existente no caldo-de-cana, e também mediante aos processamentos sintéticos. É um líquido incolor, volátil, inflamável, solúvel em água, com cheiro e sabor característicos, sendo um produto de diversas aplicações no mercado, largamente utilizado como combustível automotivo na forma hidratada ou misturado à gasolina, merecendo destaque como uma das principais fontes energéticas do Brasil, além de ser renovável e pouco poluente.

Do ponto de vista do meio ambiente, o uso de etanol, um combustível renovável e neutro do ponto de vista de emissões de carbono, é altamente desejável. Além de não contribuir para o aquecimento global, as emissões oriundas da queima do etanol em motores são significativamente menores e menos nocivas do que as provenientes da queima de gasolina e diesel (EMBRAPA, 2010).

Tendo em vistas os aspectos previamente comentados o presente artigo visa realizar um estudo bibliométrico acerca do emprego do etanol em motores, tendo como base publicações disponíveis no portal Capes.

No intuito de alcançar o objetivo previamente estipulado, o presente artigo encontra-se dividido nos seguintes tópicos: (1) introdução; (2) motores térmicos; (1.1) ciclo padrão otto; (2) etanol e mobilidade sustentável; (3) metodologia; (4) resultados e discussões; (5) considerações finais; e (6) referências.

2. Motores térmicos

Motores térmicos são definidos, segundo Giacosa (1996), como máquinas que transformam energia calorífica em energia mecânica útil. Van Wylen, Sonntag e Borngnakke (1995) definem motor térmico como, um sistema que opera segundo um ciclo, realizando um trabalho líquido positivo e trocando um calor líquido positivo; ou seja, uma máquina térmica pode ser definida como um dispositivo que, operando sob um ciclo termodinâmico, realiza trabalho líquido positivo a custo de transferência de calor de um corpo em temperatura elevada para um corpo em temperatura baixa.

O enunciado de Kelvin-Planck, para a segunda lei da termodinâmica, diz ser impossível construir um dispositivo que operando um ciclo termodinâmico, não produza outros efeitos além de trabalho e troca de calor com um único reservatório térmico (VAN WYLEN; SONNTAG; BORNGNAKKE, 1995). Consequentemente, é impossível construir uma máquina térmica que opere segundo um ciclo recebendo uma dada quantidade de calor de um corpo a alta temperatura e que produza igual quantidade de trabalho. Não se pode construir uma máquina térmica com rendimento de 100%.

Taylor (1998) advoga que, a eficiência térmica (rendimento) de uma máquina térmica é definida pela razão entre a energia liberada e a energia de entrada, sendo que a energia liberada corresponde ao trabalho líquido e a energia de entrada ao calor fornecido pelo combustível. Vide Equação 1.

$$\eta_{\text{t}} = \frac{W_{\text{líq}}}{Q_{\text{f}}}$$
 (1)

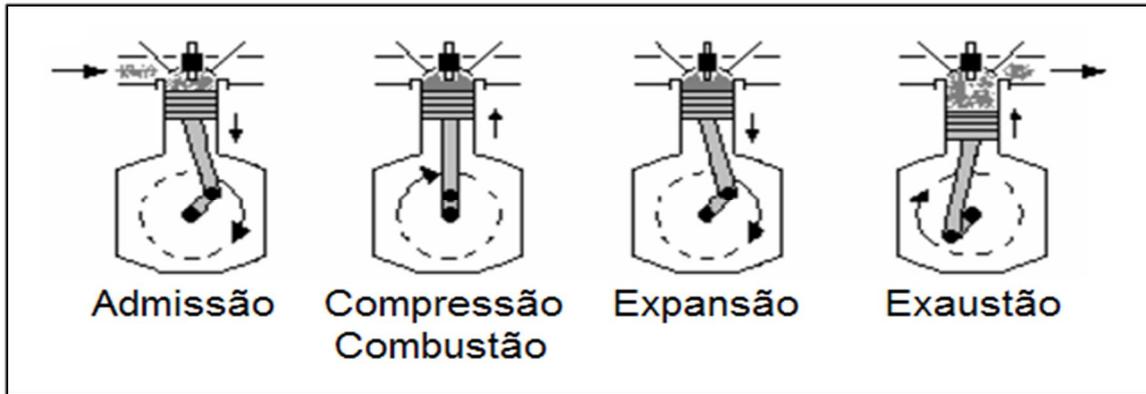
Onde: η_{t} é a eficiência térmica, $W_{\text{líq}}$ é o trabalho líquido do ciclo e Q_{f} é o calor fornecido pelo combustível.

2.1 Ciclo padrão Otto

Moran e Shapiro (2009) afirmam que o ciclo padrão é um ciclo ideal que assume que o calor é transferido instantaneamente enquanto o pistão está no ponto morto superior. Os autores consideram que, a análise do ciclo de Otto como um ciclo-padrão de ar operando segundo um ciclo fechado necessita algumas aproximações:

- o fluido de trabalho é uma massa fixa de ar que é considerado como um gás perfeito;
- o processo de combustão é substituído por um processo de transferência de calor de uma fonte externa, a volume constante;
- o ciclo é completado pela transferência de calor ao meio envolvente, também a volume constante;
- todos os processos internos são reversíveis; e
- o calor específico do ar é constante.

Na Figura 1 estão representados os tempos de um motor de combustão interna real de quatro tempos mostrando as respectivas posições e movimentos do pistão. Nota-se que neste motor o ciclo é aberto, pois ocorre um fluxo de massa quando as válvulas abrem durante a admissão e a exaustão.

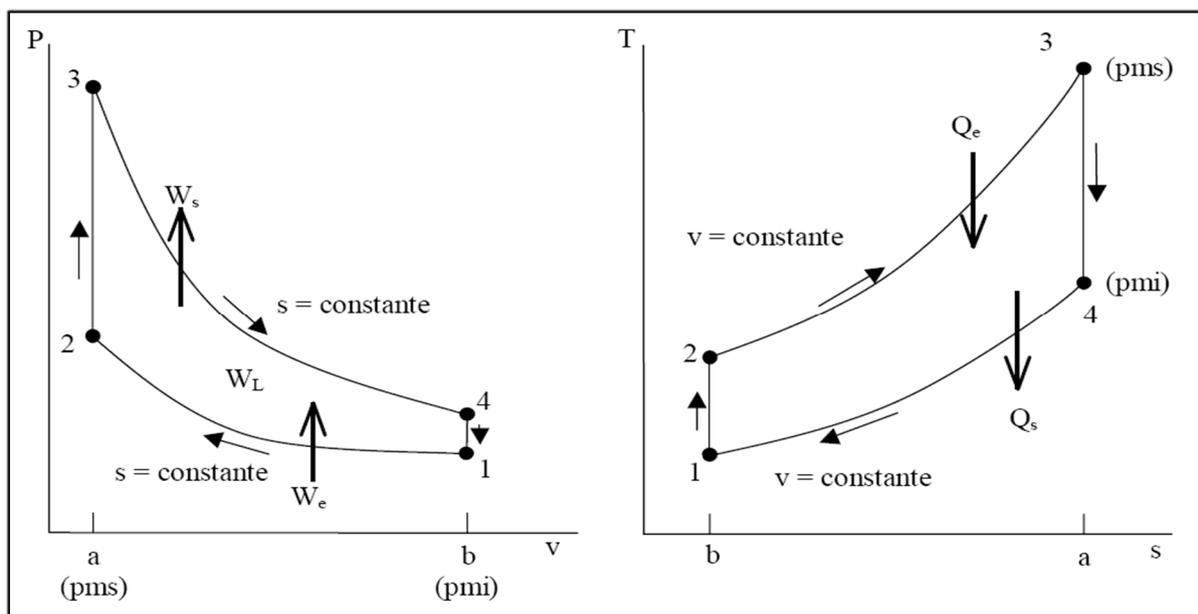


Fonte: Stone (1999)

Figura 1: Tempos de um motor de combustão interna com ignição por centelha

Para que se tenha a produção contínua de trabalho pelo motor é necessário que o mesmo seja alimentado também de forma contínua pelo seu fluido ativo que no caso é uma mistura de ar e de combustível pré-formada fora do motor.

Sendo o ciclo padrão de Otto composto de processos reversíveis fechados, as áreas no diagrama T-S (temperatura e entropia ó Diagrama Entrópico) e P-V (pressão e volume - Diagrama de Clapeyron) da Figura 2 podem ser tomados como o calor e trabalho envolvidos respectivamente.



Fonte: Adaptado de Van Wylen, Sonntag e Borngnakke (1995)

Figura 2: Diagramas P-V e T-S do ciclo padrão de Otto

No diagrama T-S (Figura 2) a área 2-3-a-b-2 representa o calor fornecido por unidade de massa, a área 1-4- a-b-1 o calor rejeitado por unidade de massa. No diagrama P-V a área 1-2- a-b-1 representa o trabalho por unidade de massa durante o processo de compressão, a área 3-4-b-a-3 o trabalho por unidade de massa durante o processo de expansão. A área fechada em cada diagrama pode ser interpretada como trabalho liberado ou calor fornecido.

No diagrama P-V da Figura 2, verifica-se que o ciclo foi tomado como de entropia constante, no diagrama T-S o ciclo foi tomado como de volume constante, e, nos processos 1-2 e 3-4,

existe trabalho sem transferência de calor. Já nos processos 2-3 e 4-1 acontece o contrário, não existe trabalho, somente transferência de calor.

3. Etanol e mobilidade sustentável

O etanol combustível é um líquido volátil, incolor e a chama proveniente de sua queima possui tom azulado e nem sempre é visível. É composto por átomos de carbono, hidrogênio e oxigênio, tendo como fórmula molecular C_2H_5OH sendo um grupo metil $-CH_3$, um grupo metileno $-CH_2$ e uma hidroxila OH (LANZANOVA, 2013). O autor complementa que, o álcool possui um número de octanas superior quando comparado à gasolina, maiores limites de inflamabilidade, maiores velocidades de chama e maior calor de vaporização. Essas propriedades permitem operar com maiores razões de compressão e menores durações de combustão, o que leva a vantagens em eficiência de conversão de energia sobre a gasolina em motores de combustão interna. Algumas desvantagens em relação à gasolina são a menor massa específica de energia, maior corrosão, menor pressão de vapor, miscibilidade total com água e emissão de aldeídos (MACLEAN; LAVE, 2003).

No processo de combustão completa, há a formação de água (H_2O) e dióxido de Carbono (CO_2). Entretanto, uma combustão completa praticamente nunca é realizada nos motores de combustão interna, uma vez que a quantidade de variáveis a serem controladas é grande. Assim, durante a operação de um motor de combustão interna, há a formação de CO_2 e de poluentes.

As emissões de poluentes são produtos relacionados aos processos intermediários de combustão que passam pelas válvulas de exaustão. Tais produtos podem ser caracterizados como monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Nitrogênio (NOx), hidrocarbonetos não queimados (HC) e material particulado (*øsootø*, PM ou fuligemö). Ainda, ao se utilizar etanol como combustível, há os aldeídos, porém não há ainda legislações específicas para tal poluente. Esses gases são potenciais causadores do efeito estufa, òsmogö, chuva ácida, deterioração da qualidade da água.

Devido às características de operação dos motores, a questão da mobilidade sustentável surge como um desafio às políticas ambientais e urbanas num cenário de desenvolvimento em que as crescentes taxas de urbanização tem implicado num aumento expressivo da frota de veículos, ou seja, o padrão de mobilidade centrado no transporte motorizado mostra-se insustentável. Tornando os níveis das emissões de poluentes cada vez maiores.

4. Metodologia

O presente artigo consiste em uma pesquisa qualitativa e quantitativa quanto à natureza, visto que apresenta dados numerados como também dados formulados a partir da descrição intuitiva dos pesquisadores (JUNG, 2004).

Quanto aos objetivos, é classificado como descritivo, pois descreve características do objeto de estudo. Quanto a procedimentos técnicos, pode ser caracterizado como, pesquisa bibliográfica e bibliométrica.

O desenvolvimento do artigo se encontra esquematizado na Figura 3.

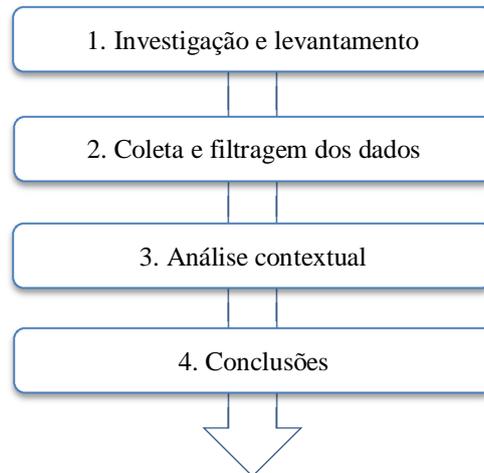


Figura 3: Sequência do processo metodológico

O processo metodológico inicia na investigação e levantamento do assunto, tendo o assunto escolhido e amparado, foi realizada a coleta e filtragem dos dados utilizando o Portal Periódico Capes, considerando apenas publicações em periódicos, dos temas etanol e motor, como também, atentando ao período de 2009 a 2014.

Sequencialmente foi realizada uma análise contextual dos dados levantado, realizando um cruzamento dos dados, a fim de, compreender o contexto do emprego do etanol em motores. Por fim, foram relatadas as conclusões do presente estudo.

6. Resultados e discussões

A pesquisa iniciou com 138 artigos em revistas, no Portal Periódicos Capes, cujas palavras chaves envolviam etanol e motores. Após a exclusão de artigos cujo foco principal era de gasolina, ou biodiesel, obteve 54 artigos os quais, 36 foram selecionados (26,09% dos artigos iniciais); pois esses de fato, apresentavam contribuições científicas na área conjunta de etanol e motores.

Os principais temas abordados se encontram especificados na Tabela 1.

Tema (original)	Tema (traduzido)	Quantidade
Internal combustion engines	Motores de combustão interna	21
Air pollution, Air Pollution Control, Emissions, Nitrogen Oxides, Carbon Monoxide and Soot	Poluição do ar, controle da poluição do ar, emissões, óxidos nitrosos, monóxido de carbono e fuligem	12
Diesel Engines or Diesel Engine	Motores Diesel ou Motor Diesel	11
Diesel motor Industry	Indústria de diesel automotivo	9
Ethyl Alcohol	Álcool Etílico	8
Automobile Engines	Motores de automóveis	4
Performance	Desempenho	4
Wet etanol	Etanol hidratado	4

Fonte: Capes (2014)

Tabela 1 ó Principais temas abordados

A Tabela 1 aponta que motores de combustão interna, é o item mais presente nesses artigos, seguindo por temas ambientais e em terceiro por motores diesel. Os tópicos menos abordados são desempenho e etanol hidratado.

A Tabela 2 apresenta quais autores obtiveram mais de uma publicação nos artigos pesquisados. É possível verificar que, os autores com maior quantidade de publicações (3), são os chineses: Ji, Changwei, Liang, Chen, e Liu, Xiaolong.

Os segundos colocados podem ser separados quanto ao país de origem da pesquisa, os chineses, Gao, Binbin e Zhu, Yongming, trabalharam conjuntamente em dois artigos com os primeiros colocados. Enquanto os americanos, com mais de uma publicação são: Saxena, Samveg, Dibble, Robert e Aceves, Salvador (Tabela 2).

Ordem	Autor	Quantidade	Artigos	País
1	Ji, Changwei Liang, Chen, Liu, Xiaolong	3	1. Improving the performance of a spark-ignited gasoline engine with the addition of syngas produced by onboard ethanol steaming reforming (CHANGWEI et al., 2012); 2. Investigation on idle performance of a spark-ignited ethanol engine with dimethyl ether addition (CHANGWEI et al., 2012); 3. Investigation on the performance of a spark-ignited ethanol engine with DME enrichment (LIANG et al., 2012).	China
2	Gao, Binbin Zhu, Yongming	2	1. Investigation on idle performance of a spark-ignited ethanol engine with dimethyl ether addition (CHANGWEI et al., 2012); 2. Investigation on the performance of a spark-ignited ethanol engine with DME enrichment (LIANG et al., 2012).	China
2	Saxena, Samveg Dibble, Robert Aceves, Salvador	2	1. Wet ethanol in HCCI engines with exhaust heat recovery to improve the energy balance of ethanol fuels (SAXENA et al., 2012); 2. Optimal operating conditions for wet ethanol in a HCCI engine using exhaust gas heat recovery. (SAXENA et al., 2014).	Estados Unidos da América (E.U.A.)

Fonte: Capes (2014)

Tabela 2 ó Autores com mais de um artigo escolhido

Contextualizando a Tabela 1 e a Tabela 2, verificamos que os autores com maior quantidade de publicação são os que estudam os temas encontrados com menor frequência: performance (grupo de pesquisadores da China) e etanol hidratado (grupo de pesquisadores dos E.U.A.).

É importante relatar também o aspecto temporal, das 5 publicações citadas na Tabela 2, 4 são referentes ao ano de 2012 e apenas 1 em 2014, sendo que o período de estudo compreende os anos 2009 a 2014.

Quanto a base de pesquisa (Tabela 3), foi verificada que a OneFile (GALE) possuía disponível todos os artigos escolhidos, enquanto, as demais coleções apenas possuíam uma fração da quantidade dos artigos selecionados, utilizando o Portal Periódicos Capes.

Coleção	Quantidade
OneFile (GALE)	36
SciVerse ScienceDirect (Elsevier)	19
Scopus (Elsevier)	14
SpringerLink	3

Fonte: Capes (2014)

Tabela 3 ó Coleções e quantidade de artigos encontrados

A ordem cronológica das publicações, disponível na Tabela 4, acerca da junção dos termos: etanol e motores apresentou maior quantidade de publicações nos anos de 2012 (veja a Tabela 2) e 2013. Em 2010 houve a menor quantidade de artigos selecionados (2).

Período	Quantidade
2009	4
2010	2
2011	5
2012	10
2013	10
2014	5

Fonte: Capes (2014)

Tabela 4 Ó Ordem cronológica acerca da quantidade das publicações selecionadas

Doravante na Tabela 5, averiguou-se que os artigos que contextualizam as áreas: etanol e motores apresentou maior quantidade de publicações no periódico *Fuel (Guildford)*, com 10 artigos, seguido por *Applied Energy* (6 artigos). Enquanto apenas uma publicação foi encontrada nos periódicos: *Combustion and Flame*; *Journal of Mechanical Science and Technology*; e *Tribology Letters*.

Título do periódico	Qualis (Engenharias III)	Quantidade
<i>Applied Energy</i>	A1	6
<i>Applied Thermal Engineering</i>	A1	4
<i>Combustion and Flame</i>	A1	1
<i>Energy (Oxford)</i>	A1	3
<i>Energy Conversion and Management</i>	A1	2
<i>Fuel (Guildford)</i>	A1	10
<i>Fuel Processing Technology</i>	A1	3
<i>International Journal of Automotive Technology</i>	B2	3
<i>International Journal of Hydrogen Energy</i>	A2	2
<i>Journal of Mechanical Science and Technology</i>	*	1
<i>Tribology Letters</i>	**	1

* Não consta classificação para Engenharia III;

** Não consta nenhuma classificação.

Fonte: Capes (2014) e WebQualis (2014)

Tabela 5 Ó Periódicos, classificação Qualis e quantidade de artigos selecionados

A Tabela 5 oportuniza a contextualização dos dados encontrados com a *Qualis*, sistema de avaliação nacional dos periódicos; Dos 11 encontrados, 7 apresentam *Qualis* A1, 1 apresenta *Qualis* A2 e 1 B2, os demais não possuem classificação no sistema quanto ao grupo Engenharias III.

Todavia, são periódicos internacionalmente reconhecidos, haja vista que, o *Journal of Mechanical Science and Technology*, em 2013 apresentou *Impact Factor* de 0,703 (JOURNAL OF MECHANICAL SCIENCE AND TECHNOLOGY, 2014). Enquanto, *Tribology Letters* apresentou o expressivo *Impact Factor* de 2,151 em 2013 (TRIBOLOGY LETTERS, 2014).

7. Considerações finais

Mobilidade sustentável é um desafio para políticas urbanas e ambientais no país, tendo em vista os fatores culturais, econômicos e sociais. Por um lado, cresce significativamente a quantidade de veículos motorizados no país, seja individual ou referente ao transporte de cargas; por outro lado, danos ambientais resultantes das atividades motorizadas são amplamente conhecidos. Uma solução para esse impasse é a pesquisa e desenvolvimento de combustíveis limpos e renováveis, conjuntamente com motores mais eficientes, tendo em foco que ambos os aspectos necessitam ser viáveis economicamente.

Nesse contexto, dentre os combustíveis renováveis, no Brasil o etanol apresenta como uma possibilidade viável, concomitantemente, apresenta potencial tóxico menor do que a gasolina e diesel. Historicamente, o etanol foi utilizado em boa parte dos veículos motorizados nos anos 80, atualmente sendo mais comum, a utilização de veículos *flex-fuel*, aceitam mais de um tipo de combustível, geralmente, etanol e gasolina.

Contudo, o presente estudo, não demonstrou do ponto de vista científico a vanguarda na área de pesquisas relativas a etanol e motores. Dentre os pesquisadores que apresentaram mais de um artigo impactante na área, as nacionalidades, dos pesquisadores é predominantemente, chinesa ou americana.

Dos 36 artigos, 21 tiveram como foco aspectos internos dos motores de combustão interna e 12 atentaram ao enfoque ambiental. Os principais pesquisadores da China e dos E.U.A. estudam temas tem como enfoque, temas menos pesquisados: desempenho e etanol hidratado. Apontando pioneirismo dos mesmos.

A coleção OneFile (GALE) dispõem de todos os artigos elencados, enquanto as demais bases de pesquisa, possuem apenas uma fração. Considerando o período de análise: 2009-2014, os anos de 2012 e 2013 apresentaram a maior quantidade de artigos selecionados publicados, dez em cada ano; Enquanto, 2010, apresentou o de pior desempenho, com dois artigos selecionados publicados.

Foi averiguado também, que os artigos que contextualizam as áreas de etanol e motores; apresentaram maior incidência de publicações no periódico Fuel (Guildford), com 10 artigos ao total, sendo que esse periódico é classificado com A1 pela *Qualis* nas Engenharias III.

Amparados nos dados da presente pesquisa, se atesta a baixa expressividade de países como o Brasil no contexto científico de etanol e motores. Não tão somente, a língua dos periódicos de prestígio é inglesa; chineses e americanos são a vanguarda nesses tópicos.

Para futuras pesquisas sugerimos: (1) Aprofundamento dos motivos que levam à pesquisa e desenvolvimento de ponta acerca dos temas etanol e motores; e (2) Desenvolvimento de um programa estruturado para incentivar o desenvolvimento tecnológico dos temas relatados.

Referências

- AGNEW, B.** *Planet Earth, getting too hot for health?* Bulletin of the World Health Organization, Vol 79, n. 11, p. 1090-1092, 2001.
- AHMED, N. A.; CAMERON, M.** *The challenges and possible solutions of horizontal axis wind turbines as a clean energy solution for the future.* Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol.38, p. 439-460. Oct. 2014.
- CAPES.** *Portal periódico Capes.* Disponível em: <<http://www.periodicos.capes.gov.br/>>. Acesso em: 18 set. 2014.
- CHANGWEI, J.; XIAOXU, D.; BINGJIE, J.; SHUOFENG, W.; BO, Z.; CHEN, L.; XIAOLONG, L.** *Improving the performance of a spark-ignited gasoline engine with the addition of syngas produced by onboard ethanol steaming reforming.* International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 37, n. 9., p. 7860-7869, May. 2012.

- CHANGWEI, J.; CHEN, L.; YONGMING, Z.; XIAOLONG, L.; BINBIN, G.** *Investigation on idle performance of a spark-ignited ethanol engine with dimethyl ether addition.* Fuel Processing Technology, Vol. 94, n. 1, p. 94-101, Feb. 2012.
- CHEN, L.; CHANGWEI, J.; BINBIN, G.; XIAOLONG, L.; YONGMING, L.** *Investigation on the performance of a spark-ignited ethanol engine with DME enrichment.* Energy Conversion and Management, Vol. 58, p. 19-26. June, 2012.
- ELLABBAN, O.; ABU-RUB, H.; BLAABJERG, F.** *Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology.* Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol.39, p. 748-764. Nov. 2014.
- EMBRAPA.** *Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.* Agrobiologia. Disponível em: <<http://www.cnepab.embrapa.br/imprensa/releases/etanol-cana.html>>. Acesso em: 13. mai. 2010.
- GIACOSA, D.** *Motores Endotérmicos.* Trad. González-Vallés. Barcelona: HOEPLI Ed. Científico-Médica, 1964.
- GOMES, G. M. F.; VILELA, A. C. F.; ZEN, L. D.; OSÓRIO, E.** *Aspects for a cleaner production approach for coal and biomass use as a decentralized energy source in southern Brazil.* Journal of Cleaner Production, Vol. 47, P. 85-95. May 2013.
- JOURNAL OF MECHANICAL SCIENCE AND TECHNOLOGY.** Disponível em: <<http://www.springer.com/engineering/mechanical+engineering/journal/12206>>. Acesso em: 18 set. 2014.
- JUNG, C. F.** *Metodologia para pesquisa e desenvolvimento: aplicada a novas tecnologias, produtos e processos.* Rio de Janeiro: Axcel Books, 2004.
- LANZANOVA, T. D. M.** *Avaliação Numérica e Experimental do desempenho de um Motor Otto Operando com Etanol Hidratado.* Dissertação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013.
- MACLEAN, H. L.; LAVE, L. B.** *Evaluating automobile fuel/propulsion system technologies.* Progress in Energy and Combustion Science. Vol. 29, p. 1-69, 2003.
- MARTINS, F. R.; ABREU, S. L.; PEREIRA, E. B.** *Scenarios for solar thermal energy applications in Brazil.* Energy Policy, Vol. 48, p. 640-649. Sept. 2012.
- MORAN, M.; SHAPIRO, H.** *Princípios de Termodinâmica para Engenharia.* Rio de Janeiro: LTC Editora, 2009.
- WEBQUALIS.** Disponível em: <<http://qualis.capes.gov.br/webqualis/publico/pesquisaPublicaClassificacao.seam>>. Acesso em: 18 set. 2014.
- RAELE, R.; BOAVENTURA, J. M. G.; FISCHMANN; A. A.; SARTURI, G.** *Scenarios for the second generation ethanol in Brazil.* Technological Forecasting and Social Change, Vol. 87, p. 205-223. Sept. 2014.
- REVISTA BODIESELBR.** Disponível em <<http://www.biodieselbr.com/energia/alcool/mercado-etanol.htm>>. Acesso em: 13. mai. 2010.
- SAXENA, S.; SCHNEIDER, S.; ACEVES, S.; DIBBLE, R..** *Wet ethanol in HCCI engines with exhaust heat recovery to improve the energy balance of ethanol fuels.* Applied Energy, Vol. 98, n. 10, p. 448-458. Oct, 2012.
- SAXENA, S.; VUILLEUMIER, D.; KOZARAC, D.; KRIECK, M.; DIBBLE, R.; ACEVES, S.** *Optimal operating conditions for wet ethanol in a HCCI engine using exhaust gas heat recovery.* Applied Energy, Vol. 116, p. 269-278, Mar. 2014.
- STONE, R.** *Introduction to Internal Combustion Engines.* 2. ed., New York: SAE, 1999.
- TAYLOR, C. F.** *Análise dos Motores de Combustão Interna,* 2. ed. São Paulo: Edgar Blucher Ltda.,1998.
- TRIBOLOGY LETTERS.** Disponível em: <<http://www.springer.com/materials/surfaces+interfaces/journal/11249>>. Acesso em 18 set. 2014.
- WYLEN, G. J.; SONNTAG R.; BORNGNAKKE C.** *Fundamentos da Termodinâmica Clássica,* 4. ed, São Paulo: Edgar Blucher Ltda., 1995.
- YANG, C.-J.; ZHOU, Y.; JACKSON, R. B.** *China's fuel gas sector: History, current status, and future prospects.* Utilities Policy, Vol. 28, p. 12-21, Mar. 2014.