

## UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA PRODUÇÃO DE PELLETS PROVENIENTES DE RESÍDUOS AGROFLORESTAIS PARA FINS ENERGÉTICOS

Bruno Silva Camargo<sup>1</sup>  
Sâmique Kyene de Carvalho Camargo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Universidade Tecnológica Federal do Paraná*

<sup>2</sup>*Universidade Estadual Paulista*

DOI: 10.47168/rbe.v25i3.471

### RESUMO

Os pellets são considerados biocombustíveis pertencentes a classe da biomassa vegetal, estes podem ser produzidos a partir de resíduos agroflorestais tais como: bagaço de cana, serragem, maravalha de madeira entre outros materiais lignocelulósicos. Este trabalho tem como objetivo realizar um levantamento de dados e informações necessárias para analisar pellets produzidos por resíduos agroflorestais pra fins energéticos. Para isso foi realizada uma revisão sistemática a fim de levantar e identificar os artigos mais relevantes encontrados na literatura. Foram utilizadas as bases *Web of Science* e *Scopus* para levantamento dos artigos mais relevantes dos últimos cinco anos.

Palavras-chave: Pellets, Resíduos agroflorestais, Potencial energético.

### ABSTRACT

Pellets are considered biofuels and can be produced from agroforestry residues such as sugarcane bagasse, sawdust, and wood shavings among other lignocellulosic materials. The objective of this work is to carry out a survey of data and information necessary to analyze pellets produced from different compositions for energy purposes. For this, a systematic review was carried out in order to identify the most relevant articles found in the literature. The Web of Science and Scopus databases were used to survey the most relevant articles of the last five years.

Keywords: Pellets, Energy potential, Pellets composition.

## 1. INTRODUÇÃO

Uma das fontes de energia renováveis e com grande potencial de desenvolvimento para os próximos anos é a biomassa. Esta é considerada uma das principais alternativas para substituir fontes de energia e minimizar a dependência de combustíveis fósseis. A utilização racional da biomassa é de grande importância ambiental para reduzir a emissão de gases provenientes do efeito estufa e o consumo de outros combustíveis. Além disso, a biomassa vegetal pode ser considerada como uma infinidade de recursos, e um plano de gestão correto e sustentável é fundamental para preservar todos os produtos lenhosos e a multifuncionalidade das florestas (SACCHELLI S, DE MEO e PALETTO, 2013).

Os resíduos de madeira são considerados biomassa de baixo custo e um combustível renovável, o que é uma fonte atraente de energia para os grupos de combustíveis de grande escala (GORI et al., 2013).

A Suécia e os Estados Unidos utilizam a biomassa vegetal em grande escala, por ser uma questão cultural de países desenvolvidos. Já em alguns países subdesenvolvidos é considerada como única fonte de energia disponível, como por exemplo, a Etiópia (GARCIA; CARASCHI; VENTORIM, 2017). Espera-se que em 2020, 42% de toda energia renovável mundial seja obtida de biomassa, incluindo eletricidade, aquecimento e resfriamento (EUROPEAN COMMISSION, 2009).

Os pellets estão entre as fontes de energia de biomassa mais utilizadas no mundo (TOSCANO et al., 2013; ARRANZ et al., 2015). Os biocombustíveis apresentam características superiores aos outros produtos de biomassa, como por exemplo, bolachas de madeira e briquetes, especialmente em relação à densidade de massa e energia (ARRANZ et al., 2015). Essa densidade maior resulta em menores custos de transporte e maior eficiência em relação à conversão de energia, com propriedades adequadas para uso em escala residencial e industrial. A produção mundial de pellets teve um crescimento acelerado nos últimos anos, de 7 a 19 milhões de toneladas de 2006 a 2012 (FAO, 2012), principalmente devido ao aumento da demanda gerada pelo meio ambiente políticas e objetivos de uso de bioenergia na Europa (DUCA et al., 2014). É também um combustível estabelecido na UE (União Europeia) e nos EUA devido ao aumento dos preços dos combustíveis convencionais e ao aumento da demanda por combustíveis mais ecológicos (REED et al., 2012). O resíduo de madeira produz um material de combustível mais adequado que pode ser queimado diretamente como combustível de aquecimento e usado como co-combustível com carvão e outros combustíveis (MAGELLI et al., 2009). Além disso, não há produtos químicos adicionais como em

outros combustíveis fósseis convencionais (CAMBERO e SOWLATI, 2014).

Assim, para propor uma resposta com base na literatura existente utilizou-se a metodologia através da revisão sistemática de literatura, a fim de identificar, interpretar e avaliar as questões de pesquisa, e analisar as tendências sobre um tema específico, identificar possíveis falhas existentes na pesquisa, e propor ou fornecer uma estrutura visando auxiliar em novas pesquisas (KITCHENHAM, 2004). Assim, o objetivo da revisão sistemática é realizar um levantamento de dados, identificar, classificar e analisar entre outras variáveis quais os tipos de pellets produzidos a partir de resíduos agroflorestais de diferentes composições de pellets visando fins energéticos.

## **2. DESENVOLVIMENTO**

### **2.1 Metodologia de pesquisa**

#### **2.1.1 Classificação da pesquisa**

Para realização desta pesquisa a princípio realizou-se um levantamento qualitativo e quantitativo das publicações relacionadas ao tema “produção de pellets produzidos a partir de resíduos agroflorestais para fins energéticos”, assim pode-se definir que esta é considerada uma pesquisa do tipo exploratória. Do ponto de vista técnico, é classificada como pesquisa de revisão bibliográfica.

Segundo Brereton et al. (2005), uma revisão sistemática possibilita ao pesquisador uma análise criteriosa e confiável das pesquisas realizadas através de um tema específico. Esta ainda pode ser designada como uma forma de pesquisa baseada em literaturas como fonte de dados, assim apresentando resultados similares ou conflitantes, proporcionando assim base para futuras investigações (LINDE e WILLICH, 2003).

### **2.2 Procedimentos da pesquisa**

Foi realizada uma revisão sistemática de literatura, através de uma análise bibliométrica, de acordo com a metodologia *Methodi Ordinatio*. Segundo Pagani, Resende e Kovaleski, (2015) a metodologia do *Methodi Ordinatio* é constituída a partir das etapas:

- 1 - Estabelecer o objetivo da pesquisa;
- 2 - Realizar pesquisa preliminar exploratória com as palavras-chave nas bases de dados;

- 3 - Definir e combinar as palavras-chave e bases de dados;
- 4 - Pesquisar nas bases de dados;
- 5 - Realizar filtragem;
- 6 - Identificar o fator de impacto, ano e número de citações;
- 7 - Ordenar os artigos por meio do InOrdinatio;
- 8 - Localizar os artigos em formato integral;
- 9 - Ler e analisar sistematicamente os artigos.

A princípio definiram-se as palavras-chaves sobre pellets de madeira (*wood pellets*), produção de pellets (*pellets production*) e potencial energético (*energy potential*), para selecionar os artigos na base de dados da CAPES. Foram utilizadas a *Web of Science* e *Scopus* como bases a serem consultadas, pois são bases multidisciplinares e possuem os periódicos com maior número de citações de acordo com suas áreas. Além de ser um índice de citações, informando, para cada artigo, os documentos por ele citados e os documentos que o citaram.

Para analisar os dados obtidos foram utilizados os *softwares Mendelej e Jabref*, já que, por meio destes, é possível selecionar os artigos e transportá-los para o excel para dar sequência a bibliometria junto com a inserção dos dados de JCR (*Journal Citation Reports*), qualis e citações.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Feita a busca por artigos, foram encontrados 368 artigos nas bases *Web of Science* e *Scopus* e após eliminação das 33 duplicatas restaram 335 artigos. Em seguida foi realizada uma nova filtragem visando utilizar as publicações dos últimos 5 anos, assim foram eliminados 102 artigos, restando 233 artigos, destes foram selecionados os 10 artigos caracterizados como mais relevantes para esta pesquisa. Em outras bases foram encontrados artigos e teses relevantes para esta pesquisa. Esta pesquisa foi realizada em junho de 2017.

A partir dos dados levantados pela base *Web of Science* foi possível realizar um levantamento das variáveis relacionadas à publicação sobre pellets, tais como: Autores, Tipo de Publicação, Área e Ano de Publicação.

Na Tabela 1 consta o tipo de documento das publicações identificadas pela base *Web of Science* (2017).

Tabela 1 - Tipos de documentos publicados sobre pellets

<b>Campo: tipos de documento</b>	<b>Contagem do registro</b>	<b>% de 368</b>
Article	298	80.987%
Proceedings Paper	44	11.957%
Review	14	3.804%
Meeting Abstract	9	2.446%
Correction	7	1.902%
News Item	4	1.087%
Note	2	0.543%

Observa-se que o número de artigos é bem superior aos demais tipos de documentos.

A partir dos dados expressos na Tabela 2, obtidos no *Web of Science* (2017) é possível identificar quais autores mais publicaram a respeito de pellets, auxiliando assim futuros pesquisadores.

Tabela 2 - Autores que mais publicaram sobre pellets

<b>Campo: autores</b>	<b>Contagem do registro</b>	<b>% de 368</b>
SOKHANSANJ S	28	7.609%
LIM CJ	21	5.707%
MELIN S	21	5.707%
BI XT	11	2.989%
BI X	9	2.446%
BOMAN C	8	2.174%
LAU A	8	2.174%
JUNGINGER M	7	1.902%
STAHL M	7	1.902%
YAZDANPANA F	7	1.902%

Os artigos também foram classificados com relação a ano de publicação, conforme dados do *Web of Science* (2017), apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Anos de publicação sobre pellets

<b>Campo: anos de publicação</b>	<b>Contagem do registro</b>	<b>% de 368</b>
2016	52	14.130%
2014	48	13.043%
2015	42	11.413%
2011	36	9.783%
2013	32	8.696%
2012	30	8.152%
2017	25	6.793%
2010	22	5.978%
2008	15	4.076%
2009	15	4.076%

A partir dos dados da Tabela 3, é possível verificar que atualmente o número de publicações tem aumentado, visto que o ano de 2016 foi o maior até o momento neste quesito. E as maiores publicações pertencem aos últimos 5 anos, visto que o ano de 2017 visto que o ano de 2017 refere-se ao primeiro semestre.

Para determinar as áreas de publicação dos artigos identificados nesta pesquisa foi elaborada a Tabela 4 a partir de dos dados do *Web of Science* (2017).

Tabela 4 - Áreas de publicação sobre pellets

<b>Campo: áreas de pesquisa</b>	<b>Contagem do registro</b>	<b>% de 368</b>
Energy fuels	182	49.457%
Engineering	143	38.859%
Agriculture	54	14.674%
Biotechnology applied microbiology	49	13.315%
Environmental sciences ecology	48	13.043%
Materials science	38	10.326%
Science technology other topics	34	9.239%
Forestry	28	7.609%
Chemistry	24	6.522%
Toxicology	22	5.978%

Por meio dos dados expressos na Tabela 4 é possível analisar que a área de engenharia e de combustíveis voltados para área energética, são as áreas mais relevantes se tratando de pellets.

Comparando as publicações de pellets a partir de suas respectivas áreas, foi elaborado o Gráfico 1 (SCOPUS, 2017).

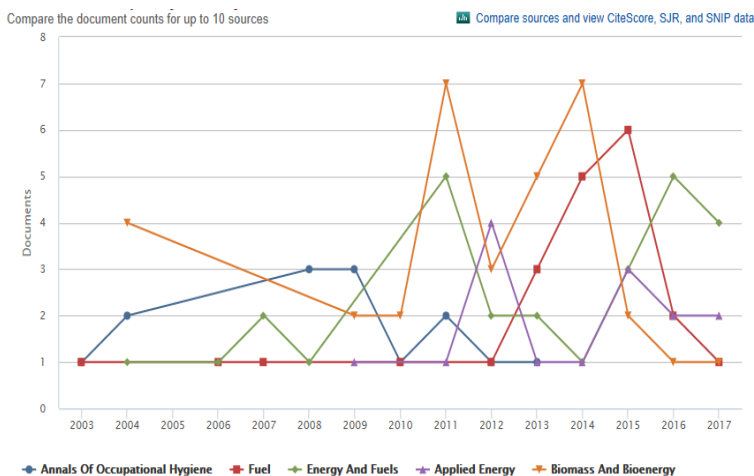


Gráfico 1 - Publicações por área sobre pellets

Observa-se que nos anos de 2011 e 2014, obteve-se maiores publicações na revista *Biomass e Bioenergy* e que esta é a que mais possui documentos na área de publicação.

Assim, após realizar todos os levantamentos necessários para identificação dos artigos mais relevantes, foi possível elencar os 10 artigos mais relevantes desta pesquisa, conforme Tabela 5.

Tabela 5 - Artigos mais relevantes

Artigos	Journal	Ano	JCR	Qualis	Autor
Determination of effective thermal conductivity and specific heat capacity of wood pellets	Fuel	2013	3,611	A1	Guo, W., Lim, C.J., Bi, X., Sokhansanj, S. and Melin, S.

Tabela 5 - Continuação

Artigos	Journal	Ano	JCR	Qualis	Autor
How the user can influence particulate emissions from residential wood and pellet stoves: Emission factors for different fuels and burning conditions	Atmospheric environment	2017	3,459	A1	Fachinger, F., Drewnick, F., Gieré, R. and Borrmann, S.
Factors affecting wood, energy grass and straw pellet durability – A review	Renewable & Sustainable Energy Reviews	2017	6, 798	A1	Whittaker, C. and Shield, I.
Energy efficiency, greenhouse gas emissions and durability when using additives in the wood fuel pellet chain	Fuel Processing Technology	2016	3,847	A1	Ståhl, M., Berghel, J. and Williams, H.
Combustion and emission characteristics of a domestic boiler fired with pellets of pine, industrial wood wastes and peach stones	Renewable Energy	2013	3,404	A2	Rabaçal, M., Fernandes, U. and Costa, M.
Effects of thermal treatment on energy density and hardness of torrefied wood pellets	Fuel Processing Technology	2015	3,847	A1	Peng, J., Wang, J., Bi, X.T., Lim, C.J., Sokhansanj, S., Peng, H. and Jia, D.
Consumer knowledge, information sources used and predisposition towards the adoption of wood pellets in domestic heating systems	Renewable & Sustainable Energy Reviews	2016	6,798	A1	Garcia-Maroto, I., Garcia-Maraver, A., Munoz-Leiva, F. and Zamorano, M.
Direct measurements of thermal properties of wood pellets: Elevated temperatures, fine fractions and moisture content	Fuel	2014	3,611	A1	Sjöström, J. and Blomqvist, P.
Effects on Pellet Properties and Energy Use When Starch Is Added in the Wood-Fuel Pelletizing Process	Energy & Fuel	2012	2,835	A2	Ståhl, M., Berghel, J., Frodeson, S., Granström, K., & Renström, R.
Wood pellets as a sustainable energy alternative in Portugal	Renewable Energy	2016	3,404	A2	Nunes, L.J.R., Matias, J.C.O. and Catalao, J.P.S

Guo et al. (2013) analisaram em sua pesquisa dois tipos de pellets de madeira macia (coníferas), e analisaram que os materiais apresentaram bom potencial térmico e elevado poder calorífico, resultando em grande potencial energético.

Segundo Fachinger et al. (2017) os pellets apresentam elevado potencial energético, e a durabilidade e teor de umidade variaram de acordo com o tipo de madeira utilizado.



Whittaker e Shield (2017) analisaram a durabilidade dos pellets produzidos a partir de madeira (Pinheiro Silvestre), gramíneas (*Miscanthus*) e palha (Trigo), que por vez apresentaram valores energéticos superiores ao da madeira. Após análise verificou-se que a durabilidade dos pellets avaliados pode sofrer variação por diversos fatores, tais como: tamanho das partículas, adição de aditivos, condições de peletização, resistência à compressão ou à abrasão, elasticidade, resistência à água, e atrito do material durante a peletização. Após análise dos resultados verificaram que os mesmos apresentaram alta durabilidade e que a mesma está diretamente relacionada com o tipo de material utilizado.

Ståhl, Berghel, e Williams (2016) investigaram como os aditivos, amido de milho e melão afetam o consumo de energia na prensa de pellets, e as emissões equivalentes de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na produção de pellets de combustível de madeira. E, verificaram que a produção no processo de peletização é mais eficiente em termos de energia quando são utilizados aditivos, e que a quantidade de CO<sub>2</sub> emitida durante a combustão destes biocombustíveis pode ser minimizada se a quantidade de rejeitos for reduzida. A durabilidade dos pellets aumentou proporcionalmente com uma quantidade de aditivo.

Rabaçal, Fernandes e Costa (2013) estudaram as características de combustão e emissão de uma caldeira doméstica acionada com pellets de pinho, resíduos industriais de madeira e caroço de pêsego. Os resultados revelam que o tipo de pellets afeta significativamente as características das emissões da caldeira, com os pellets de pinho apresentando um desempenho significativamente melhor do que os pellets de resíduos industriais de madeira e caroço de pessegueiro.

Peng et al. (2015) analisaram três tipos de amostras de pellets de madeira, incluindo dois tipos de pellets comerciais e um tipo de pellets de controle fabricados em laboratório. Estes foram torrefados em uma unidade de cama fixa para estudar o efeito do pré-tratamento térmico sobre a qualidade dos pellets de madeira. A qualidade dos pellets de madeira foi caracterizada principalmente pela densidade do sedimento, densidade aparente, maior valor de aquecimento, dureza Meyer, absorção de umidade saturada, densidade de energia volumétrica e produção de energia. Os resultados mostraram que a torrefação diminuiu significativamente a densidade, a dureza, a densidade de energia volumétrica e o rendimento energético dos pellets. Recomenda-se portanto, que a biomassa seja submetida à torrefação e, em seguida, comprimida para produzir pellets fortes de alta hidrofobicidade e densidade de energia volumétrica.

Garcia et al. (2016) utilizaram uma abordagem baseada na percepção envolvendo um grupo focal e entrevistas pessoais para proporcionar uma compreensão mais holística para a adoção de sistemas

de aquecimento ou caldeiras à base de pellets de madeira. E observaram que a maioria dos entrevistados sabia muito pouco sobre pellets, principalmente devido à falta de informação e comunicação. Os amigos eram a principal fonte de informação, seguida pela família membros.

Sjöstrom, e Blomqvist (2014) concluíram em seu estudo que o calor específico e a condutividade térmica de pellets de madeira podem ser mensurados através da técnica de Fonte do Plano Transiente, e que os mesmos apresentaram temperaturas entre 22 e 120°C para pellets de madeira a granel.

Ståhl et al. (2012) investigaram em seu trabalho como a porcentagem de diferentes tipos de amido influenciam nas propriedades dos pellets, incluindo vida útil e uso de energia no processo de pelotização. O resultado mostra que o amido aumenta a durabilidade dos mesmos.

Nunes, Matias e Catalao (2016) demonstraram aos consumidores portugueses que os pellets de madeira são uma boa alternativa como combustível, já que é uma fonte de energia rentável no uso a longo prazo. Para isto, realizaram um levantamento de dados sobre produção, capacidade de produção e consumo de pellets. E demonstraram que os pellets são uma alternativa importante no mercado de energia português devido ao preço competitivo deste combustível em comparação com os combustíveis tradicionais.

#### 4. CONCLUSÃO

Foi possível verificar através do levantamento de dados realizados a partir das bases *Web of Science* e *Scopus*, quais as fontes de publicações mais impactantes para a produção de diferentes tipos de pellets, realizando um processo de busca por palavras chave, e filtragem de artigos mais relevantes. Assim foram identificados os autores, países, áreas entre outros com a finalidade de auxiliar futuros pesquisadores e orientá-los sobre o potencial energético de pellets de diferentes composições. Assim perante a realização deste trabalho foi possível analisar e observar o número de publicações por países, idiomas, anos de publicação, autores e áreas de publicação, bem como selecionar os artigos de acordo com seu grau de relevância das publicações, considerando o JCR e quantidade de citações.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARRANZ, J. I., MIRANDA, M. T., MONTERO, I., SEPÚLVEDA, F. J., & ROJAS, C. V. Characterization and combustion behaviour of commercial and experimental wood pellets in South West Europe. *Fuel*, v. 142, p. 199-207, 2015.

CAMBERO, C., SOWLATI, T. Assessment and optimization of forest biomass supply chains from economic, social and environmental perspectives - A review of literature. *Renew. Sust. Energy Rev.* 2014.

DUCA, D.; RIVA, G.; PEDRETTI, E. F.; TOSCANO, G. Wood pellet quality with respect to EN 14961-2 standard and certifications. *Fuel*, v. 135, p. 9-14, 2014.

EUROPEAN COMMISSION GREEN PUBLIC PROCUREMENT (GPP) TRAINING TOOLKIT. DG Environment-G2, B-1049. European Commission, Bruxelles, 2009.

FACHINGER, FRIEDERIKE ET AL. How the user can influence particulate emissions from residential wood and pellet stoves: Emission factors for different fuels and burning conditions. *Atmospheric Environment*, v. 158, p. 216-226, 2017.

FAO – Forest Products Statistics. Global Forest Products Facts and Figures. 2012.

GARCIA, Dorival Pinheiro; CARASCHI, José Cláudio; VENTORIM, Gustavo. O setor de pellets de madeira no Brasil. *Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)*, v. 8, n. 1, 2017.

GORI, M., BERGFELDT, B., REICHELT, J., SIRINI, P. Effect of natural ageing on volume stability of MSW and wood waste incineration residues. *Waste Manage.* 2013.

GUO, W., LIM, C. J., Bi, X., SOKHANSANJ, S., & MELIN, S. Determination of effective thermal conductivity and specific heat capacity of wood pellets. *Fuel*, v. 103, p. 347-355, 2013.

KITCHENHAM B.A., T. DYBÅ, M. JORGENSON. Evidence-Based Software Engineering Proceedings of ICSE 2004, IEEE Computer Society Press, pp. 273-281. 2004.

LINDE, Klaus; WILLICH, Stefan N. How objective are systematic reviews? Differences between reviews on complementary medicine. *Journal of the Royal Society of Medicine*, v. 96, n. 1, p. 17-22, 2003.

MAGELLI, F., BOUCHER, K., BI, H.T., MELIN, S., BONOLI, A. An environmental impact assessment of exported wood pellets from Canada to Europe. *Biomass Bioenergy*, 2009.

NUNES, L. J. R.; MATIAS, J. C. O.; CATALAO, J. P. S. Wood pellets as a sustainable energy alternative in Portugal. *Renewable Energy*, v. 85, p. 1011-1016, 2016.

PAGANI, Regina Negri; KOVALESKI, João Luiz; RESENDE, Luis Mauricio. Methodi Ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. *Scientometrics*, v. 105, n. 3, p. 2109-2135, 2015.

PENG, Jianghong et al. Effects of thermal treatment on energy density and hardness of torrefied wood pellets. *Fuel Processing Technology*, v. 129, p. 168-173, 2015.

RABAÇAL M, FERNANDES U, COSTA M. Combustion and emission characteristics of a domestic boiler fired with pellets of pine, industrial wood wastes and peach stones. *Renew Energy* 2013. 220-226.

SACCHELLI S, DE MEO I, Paletto A. Bioenergy production and forest multifunctionality: a trade-off analysis using multiscale GIS model in a case study in Italy. *Appl Energy* 2013.

SJÖSTRÖM J, BLOMQUIST P. Direct measurements of thermal properties of wood pellets: elevated temperatures, fine fractions and moisture content. *Fuel*, 2014.

STÅHL, Magnus, BERGHEL, J., FRODESON, S., GRANSTRÖM, K., & RENSTRÖM, R. Effects on pellet properties and energy use when starch is added in the wood-fuel pelletizing process. *Energy & Fuels*, v. 26, n. 3, p. 1937-1945, 2012.

STÅHL M, BERGHEL J, WILLIAMS H. Energy efficiency, greenhouse gas emissions and durability when using additives in the wood fuel pellet chain. *Fuel Process Technol.* 2016.

TOSCANO, G.; RIVA, G.; PEDRETTI, E. F.; CORINALDESI, F.; MENGARELLI, C.; DUCA, D. Investigation on wood pellet quality and relationship between ash content and the most important chemical elements. *Journal Biomass and Bioenergy*, Barking, Inglaterra, v. 56, p. 317-322, 2013.

WHITTAKER, C.; SHIELD, I. Factors affecting wood, energy grass and straw pellet durability – A review. *Renew sust energ rev*, 71, p. 1–11, 2017.