XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável

Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Estudo de emissões de gases do efeito estufa com uso de biomassa florestal como combustível para aquecimento de água residencial no Brasil

Greenhouse gas emissions study using forest biomass as fuel for residential water heating in Brazil

Danielle Rios Garcia

UFOP | Ouro Preto | Brasil | danielle.garcia@aluno.ufop.edu.br

Júlia Assumpção de Castro

UFOP | Ouro Preto | Brasil | julia.assumpcao@aluno.ufop.edu.br

Pedro Kopschitz Xavier Bastos

UFJF | Juiz de Fora | Brasil | pedro.bastos@ufjf.edu.br

Resumo

No Brasil, assim como em muitos outros países, os edifícios residenciais consomem uma parte significativa de toda energia produzida, principalmente para os sistemas de aquecimento de água. O presente estudo comparou cinco sistemas de aquecimento de água utilizados nas residências brasileiras: elétrico, energia solar, gás natural, GLP (Gás Liquefeito de Petróleo) e caldeiras. A comparação foi feita por meio da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) simplificada das alternativas, considerando etapas para as quais foi possível a obtenção de dados em relação à emissão de gás carbônico. Os resultados indicaram que o sistema de caldeiras é a opção ambientalmente melhor.

Palavras-chave: Energia, Aquecimento, Caldeiras, ACV, Efeito estufa.

Abstract

In Brazil, as in many other countries, residential buildings consume a significant part of all energy produced, mainly for water heating systems. The present study compared five water heating systems used in Brazilian homes: electric, solar energy, natural gas, LPG (Liquefied Petroleum Gas) and boilers. The comparison was made through the simplified Life Cycle Assessment (LCA) of the alternatives, considering stages for which it was possible to obtain

Como citar:

GARCIA, D; CASTRO, J; KOPSCHITZ; P. Estudo de emissões de gases do efeito estufa com uso de biomassa florestal como combustível para aquecimento de água residencial no Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. XXX-XXX.

data in relation to the emission of carbon dioxide. The results indicated that the boiler system is the best environmentally friendly option.

Keywords: Building energy, Heating, Boilers, LCA, Greenhouse effect.

INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos setores das atividades humanas mais poluidoras em quase todo o planeta. É também um setor responsável por alto consumo de energia, utilizando-a não somente durante a construção de edifícios, mas principalmente durante seu uso e operação. No Brasil, assim como em muitos países, o setor residencial utiliza, segundo o Balanço Energético Nacional (BEN) realizado pela EPE – Empresa de Pesquisa Energética [1], 25,5% de toda produção de energia elétrica do país. Um dos destinos desse alto consumo é o aquecimento de água pelos chuveiros elétricos que consomem cerca de 20% do total do setor [2].

A utilização de caldeiras para o sistema de aquecimento de água nas residências é uma alternativa que utiliza fonte de energia renovável como combustível, com possível reaproveitamento de resíduos de madeira, além da ampla gama ofertada de equipamentos que propiciam queima eficiente, na qual os gases expelidos para a atmosfera são consideravelmente reduzidos. A madeira é uma fonte de energia limpa, uma vez que as emissões líquidas de gases de efeito estufa são quase nulas, pois o CO_2 emitido durante a queima quase se equivale ao CO_2 consumido durante o crescimento da árvore [3].

Nas últimas décadas houve um importante desenvolvimento tecnológico na área de caldeiras, que levou a dispositivos de combustão que reduzem as emissões de GEE e aumentam sua eficiência. Uma das grandes mudanças nas caldeiras que permitiram esses benefícios foi a conexão de tanques (reservatórios de água) para armazenamento de calor [4].

Em relação ao combustível utilizado nas caldeiras, as composições de biomassa podem variar de acordo com valores de propriedades térmicas, segundo o teor de umidade, a temperatura e o grau de degradação térmica [3]. A umidade, os gases voláteis, o carvão e a cinza são produtos da degradação térmica dos combustíveis. Algumas propriedades do combustível, principalmente madeira, variam de acordo com a espécie e condições de crescimento, além de características do ambiente de combustão. O excesso de umidade do combustível e o excesso de ar durante sua combustão influenciam negativamente na quantidade de emissões [4]. Percebe-se, portanto, a quantidade de variáveis relacionadas à queima de biomassa e, consequentemente, a dificuldade de quantificação das emissões de gases que favorecem o aumento do efeito estufa, além da escassez de informações sobre emissões de partículas relacionadas às caldeiras de biocombustíveis residenciais [4].

Nesse cenário, o presente estudo objetiva comparar, quanto à emissão de gás carbônico, sistemas de aquecimento residencial de água por meio de painéis solares, aquecedores alimentados por gás natural e gás liquefeito de petróleo, resistência elétrica e caldeiras. Será dada ênfase ao uso de caldeiras, que apesar de não serem

tão utilizadas quanto os outros sistemas nas residências brasileiras, é uma alternativa limpa quanto à obtenção de energia.

METODOLOGIA

O presente estudo baseia-se na metodologia apresentada no trabalho de Taborianski [5]. Essencialmente, foram adotados os cálculos e resultados dos sistemas de aquecimento estudados pela autora - eletricidade, gás natural, gás liquefeito de petróleo e energia solar - mantidas as mesmas fronteiras da ACV simplificada, introduzindo-se o estudo do aquecimento por caldeiras.

Em relação às caldeiras foi considerado o sistema provido de reservatório, como no sistema solar, porém sem o auxílio da resistência elétrica. O princípio de aquecimento é o de termossifão com circulação da água sob pressão, não considerando a utilização de bombas para a circulação da água. A água do reservatório, fornecida pela caixa d'água da residência, é aquecida pelo princípio da troca de calor, com a passagem de água quente por uma serpentina interna, aquecida pela caldeira.

Existe uma ampla gama de combustíveis para o setor residencial de aquecimento por biomassa [6]. Serão analisados os combustíveis mais encontrados e utilizados nas caldeiras por biomassa florestal: lenha de eucalipto, cavaco de madeira, restos de madeira de obra sem resinas ou tintas e biomassa densificada.

Assim como na pesquisa da Taborianski [5], foi considerado o tempo de vida de 20 anos para todo o sistema de aquecimento por caldeiras, sem necessidade de nenhum tipo de troca. Considerou-se uma habitação com quatro habitantes que tomam um banho por dia de sete minutos, com vazão de 0,20 litros por segundo. Portanto, a unidade funcional é definida como o aquecimento de 2.452.800 litros de água (volume total de água dos banhos na residência em 20 anos) de 18 °C até atingir a temperatura 38 °C, ideal para o banho.

A adoção de uma ACV simplificada se deve, tanto nesse trabalho quanto naquele usado como referência, à dificuldade de obtenção de dados de alguns estágios do ciclo e à sua baixa influência ou de seus materiais envolvidos. Portanto, serão analisadas as etapas mais relevantes para as quais foi possível a obtenção de dados, a saber: mineração, transformação, uso e transporte entre os estágios considerados. Os dados de entrada para cálculos foram a energia e os materiais consumidos nesses estágios e, os de saída, as emissões atmosféricas de gases de efeito estufa.

RESULTADOS

INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA SIMPLIFICADO – TRANSFORMAÇÃO/MINERAÇÃO

No trabalho realizado por Taborianski [5], foi analisado o grau de influência de cada estágio do ciclo de vida no resultado. A Tabela 1 apresenta os resultados dessa análise e observa-se a adoção de simplificações. Os estágios de mineração e

transformação foram representados juntos pela autora daquele estudo, pois são processos associados e suas emissões são calculadas de forma conjunta.

Tabela 1: Análise do grau de influência, em porcentagem, de cada estágio do ciclo de vida dos sistemas de aquecimento de água residencial

Emissão total e participação percentual de cada estágio de acordo com o tipo de aquecimento					
		Chuveiro Elétrico	**Gás Natural**	**Gás Liquefeito de Petróleo**	**Solar**
	Total das emissões (kg CO_{2eq}/uf)	17.910	6.387	6.722	8.338
Transformação /Mineração	Emissão (kg CO_{2eq}/uf)	253	493	493	815
	% em relação ao total de emissões	1,41%	7,72%	7,33%	9,77%
Uso	Emissão (kg CO_{2eq}/uf)	10.707	684	1.019	2.464
	% em relação ao total de emissões	59,78%	10,71%	15,16%	29,55%
Transporte	Emissão (kg CO_{2eq}/uf)	6.950	5.210	5.210	5.059
	% em relação ao total de emissões	38,81%	81,57%	77,51%	60,67%

Fonte: [5], adaptada.

Devido à dificuldade de obtenção de dados junto a fabricantes referentes à composição do equipamento de aquecimento e visto que é um estágio pouco representativo no resultado de emissões, pode-se concluir que os materiais empregados no sistema não exercem papel decisivo no estudo comparativo. Portanto, decidiu-se pela adoção de valores para esse estágio. Partiu-se do pressuposto que o sistema de caldeiras se assemelharia ao de gás no que tange ao equipamento e, ao solar, no que tange à tubulação utilizada e à necessidade de um reservatório. De acordo com essa análise, o valor adotado para os estágios de mineração/transformação terá que se encontrar na faixa de 700 a 1.160 $KgCO_{2eq}$/uf.

INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA SIMPLIFICADO – ESTÁGIO USO

Em relação ao estágio de uso, notou-se uma grande variação entre os sistemas que influenciou diretamente o resultado. Seus valores foram calculados com o auxílio de dados de emissões encontrados na literatura. Para os valores de emissões de CO_2 e CH_4 foram consideradas emissões provenientes de equipamentos que proporcionam uma queima mais controlada e menores emissões de GEE [8] [9] quando comparadas com a queima de fogões à lenha e lareiras [10] [11]. Nesses estudos pode-se perceber que existe uma diferença pequena entre as emissões de biomassa densificada e outras biomassas. Portanto, foram adotados os seguintes valores de emissões por m³ de combustível para todas as biomassas florestais avaliadas no presente estudo: 120.000 mgCO2/m³ e 12 mgCH4/m³. Estes valores são os maiores considerados às duas fases da queima analisadas no estudo de Olsson e Kjällstrand [9]. Quando comparados aos do estudo de Kjällstrand e Olsson [8], mostraram-se próximos e, portanto, adequados para a adoção no presente trabalho.

Para facilitar os cálculos foram analisadas as emissões de CO_2 equivalentes considerando-se o potencial de aquecimento global do CH_4, 23 vezes maior que o do CO_2, ou seja, 0,1203 $kgCO_{2eq}/m^3$ de combustível [12].

A quantidade de energia necessária para aquecer um banho nas condições de temperatura fixadas no estudo (de 18 °C a 38 °C) é de 1.680 kcal [5]. Como são quatro banhos diários na habitação padrão, em 20 anos serão 29.200 banhos. A partir dos valores de poder calorífico, da densidade das biomassas florestais apresentadas na Tabela 2 e do gasto energético por banho, pode-se chegar à quantidade de madeira necessária para aquecer a água através da queima de biomassa na habitação, apresentada na Tabela 3.

Tabela 2: Poder calorífico e densidade das biomassas florestais

Combustível	Poder Calorífico (kcal/kg)	Densidade (kg/m³)
Biomassa Densificada	3.712	738
Lenha	2.830	464
Cavaco	2.830	243
Resíduo de obra	2.830	243

Fonte: [13].

Tabela 3: Quantidades necessárias de combustível para os banhos na habitação padrão

Material	Quantidade necessária para um banho (kg)	Quantidade necessária por uf (kg)	Quantidade necessária por uf (m³)
Biomassa Densificada	0,45	13.215,52	17,91
Lenha	0,59	17.334,28	37,36
Cavaco	0,59	17.334,28	71,33
Resíduo de CC	0,59	17.334,28	71,33

Fonte: os autores.

No estudo de Taborianski [5] não foram consideradas as emissões referentes à produção de energia relacionada ao uso dos equipamentos. No presente trabalho adota-se o combustível biomassa densificada (pellets e briquetes), cujos processos de produção emitem GEE. Assim, não só foram calculadas as emissões de produção da biomassa, como também os valores dessa fase foram acrescentados para os demais sistemas.

Para o chuveiro elétrico considerou-se que durante seu uso não existiriam emissões referentes à produção de combustível para a queima, já contabilizadas no processo de produção de energia elétrica da matriz brasileira. Para o sistema solar também não existem emissões referentes à produção de energia. Para a biomassa florestal, só foram consideradas emissões para a produção dos pellets, uma vez que as outras fontes gastam pouca ou nenhuma energia nesta etapa ou, então, são sobras de materiais provenientes de outros processos que já contabilizaram essa energia.

Para os sistemas a gás existem emissões referentes à sua produção. Esses valores estão relacionados na Tabela 4, juntamente com os das emissões dos pellets e foram ajustados para as unidades utilizadas no trabalho, para fins de comparação. Para o gás natural foi adotada a emissão por kg. Para a conversão, foi utilizada a tabela da GASMIG [14], que traz a densidade do GN igual a 0,71 m³/kg. Do mesmo modo, para o GLP foi necessário converter a unidade de kg para MJ, utilizando-se o valor

encontrado em [15], de 0,045837 MJ/kg. Os valores necessários para os banhos foram retirados das informações relativas à fase de uso do trabalho de Taborianski [5], expostos na Tabela 5, transformados para 20 anos de utilização.

Tabela 4: Emissões durante as fases de produção e uso

Combustível	Emissão	Unidade	Referência
GN	0,11526	kg CO_{2eq}/kg	[16]
GLP	0,000183	kg CO_{2eq}/MJ	[15]
Pellet	27,92	kg CO_{2eq}/ton	[17]

Fonte: os autores.

Tabela 5: Emissões relativas ao estágio de uso dos sistemas a gás

Tipo de aquecimento	Consumo horário	Consumo anual
GLP	1,45 kg	244 kg
Gás natural	1,68 kg	282 m³

Fonte: [5].

INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA SIMPLIFICADO – ESTÁGIO TRANSPORTE

Ao analisar o estágio de transportes, percebe-se que é o mais representativo no resultado total e, ao mesmo tempo, apresenta uma baixa variação entre os sistemas analisados no estudo. Portanto, adotou-se, seguindo o mesmo critério do estágio de mineração e transformação, um valor entre os sistemas a gás e solar. Essa adoção considerou que o transporte é referente aos materiais utilizados nos sistemas e que, portanto, se os impactos relativos aos materiais são próximos, o mesmo acontece em relação ao transporte. De acordo com essa análise, o valor adotado para os estágios de mineração/transformação terá que se encontrar na faixa de 5.059 a 5.210 $KgCO_{2eq}$/uf.

No entanto, os sistemas a gás (GLP) e por caldeiras necessitam de transportes automotivos para que o combustível chegue até as residências. Considerando veículos a diesel e distância de 10 km dos postos de distribuição até o ponto de entrega, foram acrescidos nas emissões totais os valores relativos ao transporte, calculados pela expressão de Teixeira e Bizzo [7]:

$$C_{esp} = 0,2487 * 1,0096^{C_a}$$

C_{esp} corresponde ao consumo específico de diesel (l/km) e C_a corresponde ao carregamento do caminhão, considerado de zero a 14 toneladas.

Utilizando-se os dados referentes ao peso específico do óleo diesel e à emissão de CO_2, adotados [7], 0,852kg/m³ e 3,198 CO_2/kg de óleo diesel consumido, respectivamente. Além das Tabelas 3 e 5, esses valores puderam ser calculados e estão expostos na Tabela 6.

Tabela 6: Emissões referentes ao combustível gasto em transporte

Dados	GLP	Biomassa Densificada	Lenha	Cavaco	Resíduo de CC
Carregamento do caminhão (C_a) (kg)	4.880,00	13.215,52	17.334,28	17.334,28	17.334,28
Consumo específico de diesel (C_{esp}) (l/km)	0,26	0,28	0,29	0,29	0,29
Gasto de Diesel (l)	2,61	2,82	2,93	2,93	2,93
Emissão de CO_2	7,10	7,69	8,00	8,00	8,00

Fonte: os autores.

INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA SIMPLIFICADO – RESULTADOS

Na Tabela 8 são apresentados os resultados para os sistemas estudados por Taborianski [5], já incluindo as fases de transporte do combustível e emissão referente à produção de energia relacionada ao uso para garantir a possibilidade de comparação entre todos os sistemas analisados.

Tabela 8: Resultado das emissões por tipo de aquecimento dos sistemas estudados por Taborianski [5]

Emissões (kg CO_2 eq/uf)	Chuv. Elet.	GN	GLP	Solar
Mineração/Transformação	368,0	700,0	700,0	1.160,0
Transporte	6.950,0	5.210,0	5.210,0	5.059,0
Transporte do combustível	0,0	0,0	7,1	0,0
Uso	13.145,0	3.904,0	1.019,0	3.016,0
Emissão referente à produção de energia relacionado ao uso	0,0	461,5	0,0	0,0
TOTAL	20.463,0	10.275,5	6.936,1	9.235,0

Fonte: os autores.

Na Tabela 9 são expostos os resultados para o sistema de aquecimento de água residencial por caldeiras, com os valores referentes a cada combustível estudado no trabalho.

Tabela 9: Resultado de emissões dos sistemas por caldeira para cada tipo de biomassa utilizada

Emissões (kg CO_2/uf)	Biomassa densificada	Lenha	Cavaco	Resíduo
Mineração/Transformação	1.000,0	1.000,0	1.000,0	1.000,0
Transporte	5.150,0	5.150,0	5.150,0	5.150,0
Transporte da biomassa florestal	7,7	8,0	8,0	8,0
Uso	2,2	4,5	8,6	8,6
Emissão referente à produção de energia relacionado ao uso	369,0	0,0	0,0	0,0
TOTAL	6.528,8	6.162,5	6.166,6	6.166,6

Fonte: os autores.

Observa-se que os melhores sistemas, no quesito ambiental, são os sistemas por caldeiras que utilizam a biomassa florestal, seguidos pelo sistema a GLP. São os sistemas que menos emitem GEE durante seu ciclo de vida. O chuveiro elétrico continuou sendo o pior sistema, com grande diferença em relação ao demais. O

sistema de aquecimento solar e por gás natural apresentaram valores intermediários, porém mais próximos dos sistemas com emissões reduzidas.

A diferença entre os valores encontrados para os sistemas a biomassa foi muito pequena. A lenha apresentou melhor desempenho ambiental. Este resultado deve-se ao fato de a lenha apresentar maior densidade quando comparada aos cavacos e resíduos e por não apresentar emissões durante sua produção, como é considerado na biomassa densificada.

Com a inserção dos valores relacionados à produção dos combustíveis, o gás natural apresentou-se mais poluente do que o sistema que utiliza a energia solar, emitindo mais CO_{2eq} durante esse estágio quando comparado à produção de biomassa densificada. Este fato, aliado às emissões fugitivas de metano, citadas por Taborianski [5], levaram esse sistema para essa posição.

Ao observar o estágio de uso percebe-se que se fosse o único analisado, ainda assim a ordenação dos sistemas permaneceria a mesma. Mostra-se, assim, que a fase de uso é muito decisiva no resultado. Além disso, pode-se perceber que a fase de transporte de cada sistema representou o maior impacto, para todos os sistemas, algo ligado ao alto poder de poluição dos combustíveis.

CONCLUSÃO

Uma das ferramentas utilizadas no controle dos impactos ambientais é a ACV, escolhida para o desenvolvimento do presente trabalho. No Brasil, ainda se encontram muitas dificuldades para a realização dessa avaliação, devido à falta de dados que retratem as condições de produção das indústrias, principalmente.

Este trabalho teve como objetivo analisar impactos gerados pelos sistemas de aquecimento de água residencial mais usuais no Brasil. Por se usar a ACV simplificada e com a ausência de dados, optou-se pela adoção de informações da literatura. Ressalta-se, portanto, que o estudo poderá ser complementado com a utilização de mais dados referentes à realidade brasileira, principalmente ligada à matriz energética. Situações simplificadas, como a distância de 10 km para o fornecimento de GLP também poderão ser adaptadas a regiões que que diferem desse cenário. Dados mais detalhados da produção dos equipamentos também podem alterar alguns resultados, visto que o transporte de matérias primas e de peças pode ter destaque na proporção de gases emitidos nessa fase em relação ao total. Além disso, deve-se fazer a ressalva que nem todos os cenários adotados no estudo, ou seja, tipos de combustível são de fácil acesso em todas as regiões do país.

O incentivo ao uso de energia renovável pode ajudar na redução das emissões de GEE. A inclusão da biomassa florestal no estudo foi incentivada por esse aspecto e, de acordo com os resultados encontrados, observou-se melhor desempenho em comparação aos sistemas tradicionais, principalmente o chuveiro elétrico.

REFERÊNCIAS

[1] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanço energético nacional 2018: ano-base 2017.** Acesso em 25.04.2019.

[2] GHISI, E.; GOSCH, S.; LAMBERTS, R. Electricity end-uses in the residential sector of Brazil. **Energy Policy**, v. 35, n. 8, p. 4107-4120, 2007.

[3] DEMIRBAS, A. Potential applications of renewable energy sources, biomass combustion problems in boiler power systemsand combustion related environmental issues. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 31, p. 171-192, 2005.

[4] JOHANSSON, L.S.; LECKNER, B.; GUSTAVSSON. L.; COOPER D.; TULLIN C.; POTTER A. Emission characteristics of modern and old-type residential boilers fired with wood logs and wood pellets. **Atmospheric Environment**, v.38, p. 4183-4195, 2004.

[5] TABORIANSKI, V.M. **Avaliação da contribuição das tipologias de aquecimento de água residencial para a variação dos balanços de gases de efeito estufa na atmosfera.** 134p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.

[6] VICENTE E. D.; ALVES C. A. An overview of particulate emissions from residential biomass combustion. **Atmospheric Research**, v. 199, p.159-185, 2018.

[7] TEIXEIRA, M.A.; BIZZO, W.A. Análise de ciclo de vida no transporte do carvão vegetal e mineral para redução em alto forno. In: **SEMINÁRIO DE BALANÇOS ENERGÉTICOS GLOBAIS E UTILIDADES**, 22., João Monlevade, MG, 2000. Anais. p. 69-77.

[8] KJÄLLSTRAND, J.; OLSSON, M. Chimney emissions from small-scale burning of pellets and fuelwood – examples referring to diferente combustion appliances. **Biomass & Bioenergy**, v.27, p. 557-561, 2004.

[9] OLSSON, M.; KJÄLLSTRAND, J. Low emissions from wood burning in an ecolabelled residential boiler. **Atmospheric Environment**, v. 40, p.1148-1158, 2006.

[10] GONÇALVES C.; ALVES C.; PIO C. Inventory of fine particulate organic compound emissions from residential wood combustion in Portugal. **Atmospheric Environment**, v. 50, p.297-306, 2011.

[11] WEI, W.; ZHANG, W.; HUA, D.; OU, L.; TONG, Y.; SHEN, G.; SHEN, H.; WANG, X. Emissions of carbon monoxide and carbon dioxide from uncompressed and pelletized biomass fuel burning in typical household stoves in China. **Atmospheric Environment**, v. 56, p. 136-142,2012.

[12] IPCC. **Inter-governmental Panel on Climate Change.** Technical summary of the Working Group I report. Disponível em: <http://www.meto.gov.uk/sec5/CR_div/ipcc/wg1/WGI-TS.pdf>. Acesso em 15.10.2001.

[13] FOELKEL, C. **Utilização da Biomassa do Eucalipto para Produção de Calor, Vapor e Eletricidade.** Eucalyptus Online Book & Newsletter. Capítulo 45, 2016c.

[14] GASMIG. **Tabela para converter o consumo de um energético para gás natural.** Disponível em: http://www.gasmig.com.br/GasNatural/Paginas/Tabela-de-Conversao.aspx. Acesso em: 22.10.2017.

[15] AFRANE G.; NTIAMOAH A. Comparative Life Cycle Assessment of Charcoal, Biogas, and Liquefied Petroleum Gas as Cooking Fuels in Ghana. **Journal of Industrial Ecology**, v.15, n.4, p. 539-549, 2011.

[16] KHOO, H. H.; TAN, R. B. H. Environmental Impact Evaluation of Conventional Fossil Fuel Production (Oil na Natural Gas) and Enhanced Resource Recovery with Potential CO2 Sequestration. **Energy & Fuels**, v.20, p.1914-1924, 2006.

[17] HAN, T. W. **Life Cycle Assessment of Pellet Burning Technologies.** University Amsterdam, 2010. Disponível em: <http://www.forgreenheat.org/issues/docs/TomdeHaan.pdf>. Acesso em: 22.10.2017.