



Gaseificação e pirólise da casca da castanha de caju (ccc) em estudos de avaliação do ciclo de vida (acv) para fins energéticos.

Life-cycle assessment (lca) study of gasification and pyrolysis to cashew nut shell (cns) approach for energetic.

DOI: <https://doi.org/10.24979/ambiente.v1i1.950>

Lamec Sampaio Freitas - Universidade Estadual do Ceará/UECE <https://orcid.org/0000-0003-0343-8027>

Daniel Menezes - Universidade Estadual do Ceará/UECE <https://orcid.org/0000-0003-1412-7638>

Daniel Silveira Serra - Universidade Estadual do Ceará/UECE <https://orcid.org/0000-0002-5172-5824>

Nara Angélica Policarpo - Universidade de São Paulo/USP <https://orcid.org/0000-0002-8845-6875>

Mona Lisa Moura de Oliveira - Universidade Estadual do Ceará/UECE <https://orcid.org/0000-0001-9301-4134>

RESUMO: A Casca da Castanha de Caju (CCC) é uma biomassa residual proveniente do processo de beneficiamento da castanha de caju e o uso adequado desse resíduo vem se tornando cada vez mais atrativo. Desta forma, o presente trabalho possui como objetivo aplicar a metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) para compreender os impactos ambientais desses processos, em unidades-piloto com capacidade de processamento de 150 kg/h, visando à geração de energia. Uma ACV do tipo gate-to-gate (fronteiras do sistema) foi aplicada. Na categoria GWP (Potencial de Aquecimento Global) foi verificado que a queima do carvão oriundo da pirólise emite anualmente 114 tCO₂-eq e a gaseificação apenas 80,4 tCO₂-eq. A queima do syngas no gerador, em ambos os processos, foi responsável pelas emissões de NOX que sensibilizaram a categoria POCP (Potencial de formação de Ozônio Fotoquímico). Já na categoria de emissão de PM_{2,5} (Material Particulado de 2,5µm) o carvão da pirólise mais uma vez foi um dos maiores responsáveis pelo agravamento dos impactos ambientais desta categoria, emitindo um total de 21,9 kg de PM_{2,5}- eq, enquanto que o processo de gaseificação foi responsável somente pela emissão de 0,25 % desse total.

Palavras-chave: Casca da Castanha de Caju, Gaseificação, Pirólise.

ABSTRACT: Cashew Nut Shell (CNS) is a residual biomass from the cashew nut processing process and the proper use of this residue has become increasingly attractive. Thus, this work aims to apply the Life Cycle Assessment (LCA) methodology to understand the environmental impacts of these processes, in pilot units with a processing capacity of 150 kg/h, aiming at energy generation. A gate-to-gate (system boundaries) LCA was applied. In the GWP (Global Warming Potential) category, it was found that burning coal from pyrolysis emits 114 tCO₂-eq annually and gasification only 80.4 tCO₂-eq. The burning syngas in the generator, in both processes was responsible for NOX emissions that sensitizes the POCP (Photochemical Ozone Formation Potential) category. In the PM_{2.5} (2.5 µm Particulate Matter) emission category, pyrolysis coal was once again one of the most responsible for the aggravation of the environmental impacts of this category, emitting a total of 21.9kg of PM_{2.5}-eq, while the gasification process was only responsible for issuing 0.25% of this total.

Keywords: Cashew Nut Shell, Gasification, Pyrolysis.

INTRODUÇÃO

No ano de 2018 as fontes renováveis representaram 83,3% da oferta interna de eletricidade no Brasil, que é a resultante da soma dos montantes referentes à produção nacional mais as importações, que são essencialmente de origem renovável (Balanço Energético Nacional, 2019). Em 2021, a energia proveniente de biomassa no Brasil aparece em lugar de destaque, por colaborar com um montante de aproximadamente 6,9% da oferta total de energia do país (Balanço Energético Nacional, 2020).

O Ceará apresenta uma estimativa de crescimento da produção de cereais, leguminosas e oleaginosas de 371,5%, sendo essa a segunda maior variação da região. Dentre os diversos produtos agrícolas produzidos na região, a Casca da Castanha de Caju (CCC) ocupa posição de destaque, tendo em vista ser o produto com maior projeção de crescimento para o ano de 2016, com estimativa de aumento de 120,7% da produção em relação ao ano de 2015, passando de 102.768 para 226.762 toneladas (Ibge, 2016).

Assim, dentre as principais ferramentas para avaliação de impactos ambientais associadas ao processo de geração de energia, a Avaliação ou Análise do Ciclo de Vida – ACV (do inglês, Life Cycle Assessment – LCA) ocupa posição de destaque, tendo em vista a sua extensa compreensão dos riscos e danos ambientais associadas a determinado produto ou serviço (Viana et al., 2012; Willers, Rodrigues e Silva, 2013; Patelet al., 2016).

A ACV constitui uma ferramenta indispensável para o melhor acompanhamento dos ciclos de produção e a identificação de alternativas de interação entre processos. Esta metodologia tem sido frequentemente utilizada em áreas empresarial e industrial, é reconhecida como de grande valia no setor energético (Wulf e Kaltschmitt, 2013).

Contudo, estudos que propõem analisar e avaliar riscos ambientais oriundos de unidades de gaseificação e pirólise da casca da castanha de caju, aplicando a metodologia ACV, ainda são incipientes principalmente porque dependem de características inerentes de cada processo/produtos, além da característica regional desta biomassa. Nesse contexto, o presente estudo visa à modelagem de dois principais cenários de processos termoquímicos no uso da CCC na geração de energia, aplicando a metodologia da ACV. Convém ressaltar que, em um estudo de ACV a unidade funcional deverá ser única, claramente definida e mensurável, visando permitir que todas as comparações do estudo sejam realizadas em uma única base (NBR ISO 14040, ABNT, 2001). A unidade funcional corresponde a uma medida do desempenho das saídas funcionais. Ou seja, as fronteiras do sistema devem ser definidas, e quais unidades de processo devem ser incluídas na ACV.

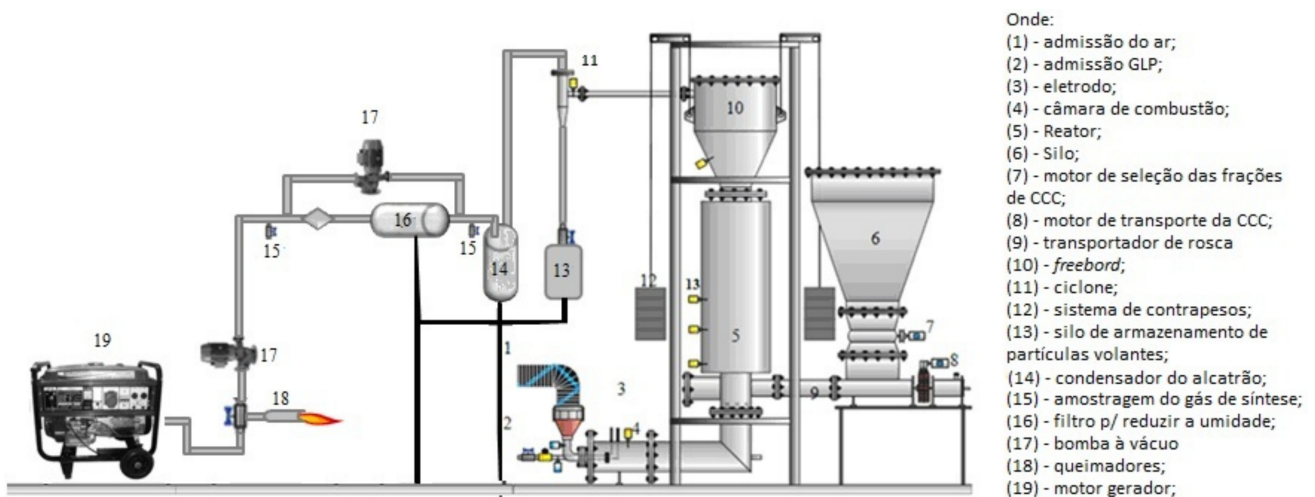
MATERIAIS E MÉTODOS

A Unidade de Gaseificação

No presente estudo foi considerada uma unidade de gaseificação de leito fluidizado de biomassa com capacidade de 150 kg/h de CCC e temperatura de 900°C, para disponibilizar uma energia de 640 kW, conforme a literatura por Alcócer e colaboradores (2015), ver figura 1a. Esta “unidade modelo” Figura 1a, utilizada para a obtenção dos parâmetros operacionais inerentes ao sistema (combustão, reator, gás de síntese, sistema de limpeza e gerador. Ou seja, sistemas relacionados com levantamento dos fluxos de massa e energia (entradas e saídas) do processo para aplicação da com forme NBR ISO 14040 (2009).

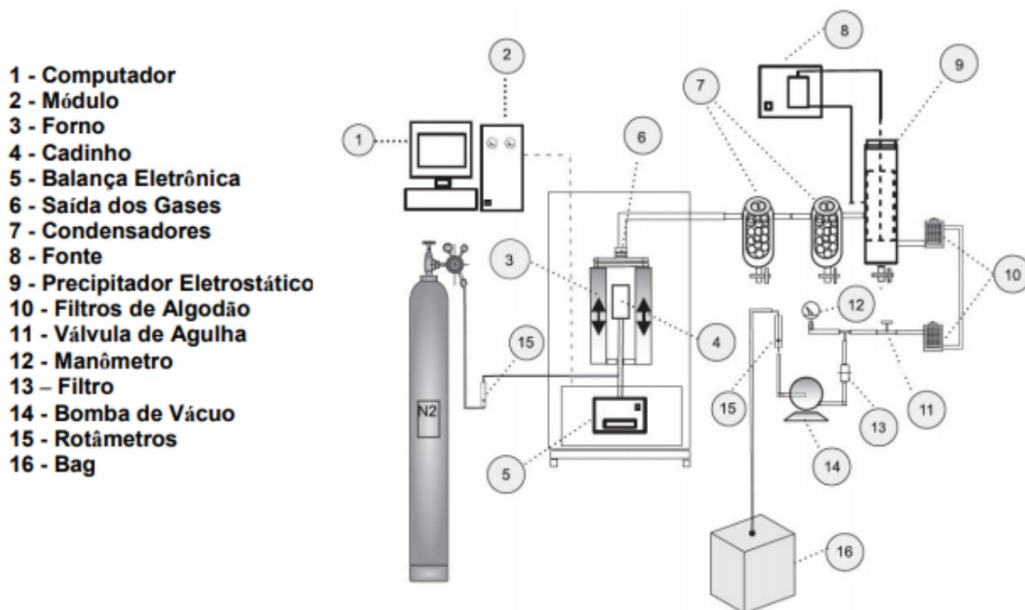
Os dados experimentais utilizados deste cenário foram obtidos através de ensaios realizados pelos pesquisadores do Laboratório de Conversão Energética e Emissões Atmosféricas (Laceema) da UECE, com a colaboração do Núcleo de Tecnologia

Figura 1a: Unidade de gaseificação da CCC.



Fonte: Alcócer et al, 2015.

Figura 1b: Sistema experimental de pirólise.



Fonte: Figueiredo, 2011 e Figueiredo, 2009.

da Combustão (NTC) da UNIFOR. Outros resultados utilizados na mesma unidade, podem ser encontrados com mais detalhes em Alcócer et al (2015).

A Unidade de Pirólise da CCC

No que diz respeito aos dados de entrada e saída de uma unidade de pirólise de CCC, foi estimado e considerado valores com base nos estudos realizados por Figueiredo (2011), que utilizou a unidade apresentada na Figura 1b. Os gases de pirólise saem pela parte superior

do forno, seguido pelo sistema de limpeza dos gases e coleta da fração líquida. Da parte superior o syngas após passar pelo sistema de limpeza é armazenado em uma bolsa para análise cromatográfica. A temperatura média desse processo, reportando por Figueiredo (2011), foi de 500 °C, com taxa de aquecimento de 5 °C/min.

MODELAGEM

A modelagem foi realizada ao determinar as quantidades dos fluxos registrados no

Inventário do Ciclo de Vida que subsidiou a alimentação do GaBi®. Foram utilizados dados de ensaios realizados em uma unidade-piloto de gaseificação da CCC, bem como dados da literatura técnica que versam sobre o processo de gaseificação e pirólise da biomassa uso de sistemas térmicos syngas. Os ensaios de gaseificação e pirólise passaram por um processo de scale up para possibilitar uma análise mais próxima da eventual operação dessas unidades, quando operadas durante um ano. Para fins de modelagem no Gabi®, a unidade funcional utilizada foi a energia gerada em um dia de operação (44 kWh/dia) e foram caracterizados dois principais cenários:

Cenário 1 - Unidade de Gaseificação de CCC:

Esse cenário abrange os valores mensurados em experimentos realizados na unidade de gaseificação, bem como as devidas projeções para um ano útil de operação da unidade.

Cenário 2 - Unidade de Pirólise da CCC:

Foram utilizados como referência os dados da literatura que abordam a pirólise da biomassa, mais especificamente os trabalhos de Figueiredo (2011) que avaliou a caracterizou dos produtos da pirólise da CCC. Convém salientar que as amostras de CCC utilizadas pelos autores possuem a mesma origem, daquelas usadas no processo de gaseificação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base no inventário realizado nas unidade de gaseificação e pirólise da CCC, Tabela 2 - (a) e (b), ilustra-se os principais fluxos (entrada e saída) existentes nesses processos, modelado no GaBi®. Todos os dados coletados foram normalizados conforme a unidade funcional.

As principais etapas do cenário 1 estão relacionadas ao Reator (RG) e o Motor-Gerador (MG), onde ocorrem reações termoquímicas (combustão) gerando as emissões de poluentes que, conseqüentemente, contribuem potencialmente para o impacto

Tabela 2: (a) Cenário 1: Gaseificação da CCC. (b) Cenário 2: Pirólise da CCC.

GASEIFICAÇÃO (5760 hs)			PIRÓLISE (5760hs)		
Entradas			Entradas		
Fluxo	Quantidade	% Total	Fluxo	Quantidade	% Total
Biomassa	304800	0,94942	Biomassa	304800	1,00
Ar	15697,2	0,048895	Nitrogênio	228,6	0,001
GLP	541,02	0,001685	GLP	541,02	0,002
TOTAL	321038,22	1	TOTAL	305569,62	1
Saídas			Saídas		
Fluxo	Quantidade	% Total	Fluxo	Quantidade	% Total
CO ₂	67345,23107	21%	CO ₂	60632,2658	19,84%
CO	23395,65542	7%	CO	15724,7231	5,15%
H ₂	1436,438744	0,4%	H ₂	45899,1919	15,02%
PM _{2,5}	10821,95043	3%	Água	566,65669	0,19%
Alcatrão	36514,35072	11%	Alcatrão	99448,2491	32,55%
TOTAL	139513,6264	43%	Carvão	35982,6998	11,78%
			TOTAL	258253,786	84,52%

Tabela 3: Cenários e as Categorias de impactos ambientais.

Categorias de impactos ambientais	Cenários	
	(1) Gaseificação	(2) Pirólise
GWP (kg CO ₂ eq)	80	114
PM _{2,5} (kg PM _{2,5} eq)	5,57×10 ⁻²	21,9
POCP (kg NMVOC)	1,16×10 ⁴	9,45×10 ⁴

ambiental. Já no cenário 2, os processos mais relevantes são o Reator, o Gerador e o Forno. Assim, através da ACV dos cenários em análise, obtiveram-se os resultados na Tabela 3. Desta, observa-se impactos de Potencial de Aquecimento Global (GWP), no cenário 2, devido a queima do carvão no forno e gerador do processo. Pelo aproveitamento energético do carvão de pirólise, dado o seu elevado Poder Calorífico Inferior (PCI), a emissão de PM_{2,5} foi mais elevada nesse cenário e na formação de ozônio fotoquímico, os resultados são devido à composição química do syngas, na gaseificação, H₂:CO é de 1:1 e na pirólise é de 3:1.

CONCLUSÕES

Na análise geral dos resultados obtidos da aplicação da metodologia de ACV em processos da decomposição térmica (gaseificação e pirólise) da casca da castanha de caju para geração de energia, o estudo estabelece contributos relevantes dentre os

quais, a importância do desenvolvimento de um modelo de ciclo de vida para processos termoquímicos que permitem avaliar o impacto ambiental na geração de energia, sobretudo quando gerados a partir de biomassa regional, neste caso resíduos da agroindústria e em termos ambientais, verificou-se que a pirólise apresenta maior contribuição para os danos ambientais associados às três categorias estudadas.

AGRADECIMENTOS

A todos os envolvidos nesse trabalho, do Laboratório de Conversão Energética e Emissões Atmosféricas (Laceema), ao Núcleo de Tecnologia da Combustão (NTC) da Unifor. Agradecimentos especiais à Thinkstep pelo fornecimento da versão acadêmica do software Gabi 5.0 e ferramentas indispensáveis para a realização desse trabalho.

REFERÊNCIAS

ALCOCER, J. C. A.; DUARTE, J. B. F.; PEREIRA, M. C.; OLIVEIRA, M. L. M.; LIMA, R. K. C.; BENEVIDES, D.; BARROS, G., 2015 Mass and Energy Balance of a Cashew Nut Shell Gasification Pilot Unit Utilized in Power Generation. Revista IEEE América Latina, v. 13, p. 1-5.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço Energético Nacional 2021. Rio de Janeiro, 2020. 42 p.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço Energético Nacional 2019. Rio de Janeiro, 2019. 16 p.

FIGUEIREDO, Renata Andrade. Caracterização dos produtos da pirólise da casca de caju: influência da taxa de aquecimento e da temperatura. 2011. 126 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP. 25/02/2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Levantamento Sistemático da

Produção Agrícola. Rio de Janeiro, v. 29, n. 1, p 1-78. Janeiro 2016.

GABI® software, - <http://www.gabi-software.com/brazil/index/>, acesso em Julho de 2016.

PATEL, M., ZHANG X., KUMAR, A., Techno-economic and life cycle assessment on lignocellulosic biomass thermochemical conversion technologies: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol.53, Pag.1486-1499.

M., Life cycle assessment of biohydrogen production as a transportation fuel in Germany. Bioresource Technology, Vol. 150, pag. 466-475.

VIANA, A. N. C., BORTONI E. C., NOGUEIRA, F. JOSÉ H., HADDAD J., NOGUEIRA L. A. H., VENTIRINI, O. J., YAMACHITA, R. A., Eficiência Energética: Fundamentos E Aplicações, 1a. Edição, Universidade Federal de Itajubá, Excen, Fupai, Campinas – SP 2012.

WILLERS, Camila Daniele; RODRIGUES, Luciano Brito; SILVA, Cristiano Alves, Avaliação do ciclo de vida no Brasil: uma investigação nas principais bases científicas nacionais. Produção, v. 23, n. 2, p. 436-447. Junho 2013.

WULF C., KALTSCHMITT M., Life cycle assessment of biohydrogen production as a transportation fuel in Germany. Bioresource Technology, Vol. 150, pag. 466-475.