



# Academy

INTERNATIONAL WORKSHOP  
ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION

“CLEANER PRODUCTION FOR ACHIEVING SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS”

## Avaliação de Ciclo de Vida da produção de biodiesel a partir da semente de Tabaco Solaris

CARVALHO, F. S. <sup>a,c\*</sup>, FORNASIER, F. <sup>b</sup>, LEITÃO, O.M. <sup>b</sup>, SCHNEIDER, R. C. S. <sup>a,b</sup>, MORAES, J. A. R. <sup>a,c</sup>

*a. Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental, Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, Rio Grande do Sul*

*b. Departamento de Química e Física Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, Rio Grande do Sul*

*c. Departamento de Engenharias, Arquitetura e Ciências Agrárias, Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, Rio Grande do Sul*

[\\*fernandocarvalho@unisc.br](mailto:fernandocarvalho@unisc.br)

### Resumo

O objetivo deste trabalho é analisar o ciclo de vida da produção agrícola de semente de Tabaco Solaris para fins de obtenção de biodiesel na região de Santa Cruz do Sul. Principalmente neste município gaúcho, há alta produção de tabaco visando a obtenção de folhas a serem empregadas na fabricação de cigarros. O tabaco Solaris, conhecido como energético, foi instalado em lavoura experimental e tem uma produção agrícola similar ao tabaco convencional. Neste sentido, realizamos a avaliação da etapa de produção de sementes empregando Análise do Ciclo de Vida e assim, reconhecendo, durante a etapa de lavouras experimentais, o que pode ser melhorado na produção para reduzir o impacto ambiental. O trabalho foi feito levando-se em consideração os recursos necessários para obtenção de 1kg de sementes como unidade funcional no software SimaPro 8.5, utilizando o banco de dados Ecoinvent 3.4, e o método de avaliação ReCiPe 1.06 na perspectiva hierárquica, também foram utilizados outros métodos de análise para fins de comparação. Constatou-se que comparado a outras iniciativas de avaliação do ciclo de vida de produção de biodiesel, entende-se que produzir biodiesel de semente de tabaco Solaris leva a impactos semelhantes aqueles que são identificados com outras culturas, com danos totais para a produção de 1 kg de biodiesel de óleo de tabaco Solaris de 1,07E-05 Daly, 7,13E-08 species.yr e 1,42E+01 \$, para as categorias relacionadas a saúde humana, ecossistema e recursos naturais, respectivamente.

*Keywords: Tabaco energético, Solaris, ACV, AICV, SimaPro*

### 1. Introdução

O tabaco é a cultura não alimentar mais importante no mundo com mais de 4 milhões de hectares de extensão e tem a maior razão entre parte aérea/raízes entre as plantas agrícolas, necessitando intensificar os esforços de pesquisas para transforma-la em alternativa não convencional para biocombustíveis economicamente viável (Poltronieri 2016).

Santa Cruz do Sul está localizada no estado do Rio Grande do Sul no extremo sul do Brasil e tem a colonização alemã como origem de sua comunidade. O plantio e colheita das folhas do tabaco é

“CLEANER PRODUCTION FOR ACHIEVING SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS”

a mais importante atividade econômica nas localidades do interior do município e cidades vizinhas, colhendo aproximadamente 731.390 toneladas de folhas de tabaco para produzir cigarros (de Souza Schneider et al. 2017).

Para fins de diversificação dos usos do tabaco, uma alternativa é a produção de sementes, as quais atualmente no Brasil, são produzidas apenas para plantio. No entanto, a semente de tabaco é apresentada como um insumo em potencial para a produção de óleo vegetal. O óleo vegetal apresenta características próximas as de outros óleos e portanto, tem potencial para a produção de biodiesel. Para tanto, há a necessidade de usar uma variedade diferente como a Solaris, investigada pela Sunchem do Brasil para a produção agrícola no sul do Brasil. Destaca-se que a diversificação agroindustrial da produção de biodiesel é uma alternativa importante para o desenvolvimento de regiões que apresentam vocações agrícolas e tecnologia de plantio para alavancar novos empreendimentos e dar aos agricultores novas oportunidades como acontece em várias partes do mundo (Guil-Guerrero et al. 2017).

Atualmente o estudo de novas culturas com potencialidade para a produção de biodiesel é impulsionado pelo aumento gradativo do percentual de biodiesel no diesel distribuído nos postos de combustível no Brasil, o qual é 10% desde de março de 2018. Porte et al. (2010), Kaercher et al. (2013) estudaram a produção e consumo de biodiesel para pequenos produtores da região a partir de diferentes óleos, demonstrando benefícios e impactos ambientais que impulsionam as pesquisas para novos estudos com óleos como o de tabaco para biodiesel.

Portanto, para contribuir para que haja a instalação de um processo produtivo de óleo e biodiesel desta cultura, a análise de ciclo de vida serve como uma ferramenta para compreender os impactos que são atribuídos a mesma, considerando a avaliação do cultivo na lavoura experimental e a produção em escala piloto de óleo e biodiesel.

A avaliação do ciclo de vida é uma ferramenta sistêmica para a compilação e avaliação dos aspectos e capacidades de impacto ambiental dos sistemas de um produto em todos os seus estágios de produção, variando entre a recuperação de questões primárias da natureza e sua colocação no sistema de produção e a disposição do produto final após a sua utilização. A ACV foi regulamentada com quatro fases: objetivo e alcance, inventário do ciclo de vida (ICV), avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV) e interpretação do ciclo de vida (14040 2006).

Trabalhos de avaliação do ciclo de vida da produção de biodiesel no Brasil já foram desenvolvidos com outras culturas, como no caso da avaliação de impacto ambiental realizada nas cidades de Luís Eduardo Magalhães e São Desidério no estado da Bahia, Brasil, mas envolvendo a cadeia produtiva do biodiesel oriundo do óleo extraído da semente de algodão (Lima et al. 2017), sendo comparável as propriedades do biodiesel definidas pela Agência Nacional do Petróleo e ASTM (Usta et al. 2010, Sharma et al. 2015).

Desta forma, objetivou-se avaliar o ciclo de vida da produção de biodiesel a partir de sementes de Tabaco Solaris, considerando o cultivo e colheita do tabaco, extração do óleo e transesterificação, considerada uma avaliação do “berço ao portão”.

## 2. Métodos

### 2.1 Delineamento da Pesquisa

Esta pesquisa foi realizada no Vale do Rio Pardo, Rio Grande do Sul, em uma lavoura experimental para produção de semente de tabaco Solaris. A lavoura experimental de 10 hectares em Rincão Del Rey, passando pela extração do óleo até a obtenção do biodiesel em uma planta piloto.

Os dados foram coletados a partir de visita a lavoura experimental e em entrevista com o agricultor que informou: os recursos e quantidades usados no plantio bem como a produtividade da lavoura, quantidade de plantas por área, maquinário empregado, consumo de combustível por hora. A partir da produção da semente os dados foram coletados nas instalações da planta piloto de extração e produção de biodiesel dentro da UNISC – Universidade de Santa Cruz do Sul, com levantamento da

potência instalada nos equipamentos, consumo de GLP, rendimento dos processos, geração de subprodutos, etc.

Após o inventário dos dados a AICV foi realizada com software SimaPro 8.5.0.0 PhD considerando as fases de cultivo, extração de óleo e produção de biodiesel.

#### *Cultivo de tabaco Solaris*

O plantio das mudas em estufa foi o início do processo, realizado no inverno e transplantadas para lavoura na primavera, onde finalizou seu desenvolvimento. Foram realizadas duas colheitas de sementes no verão. Existe mecanização para preparação da terra e correção de solo (subsolagem, gradagem e fertilização) e o transplante das mudas foi manual, assim como a colheita das cachopas para a separação das sementes.

A ordem das operações de mecanizadas envolveu dessecação, para eliminar outras plantas antes de preparar a terra, aplicação de inseticida e fungicida pré transplante, para controlar insetos e fungos; aplicação de boro para nutrição da planta; aplicação de inseticida e fungicida pós transplante; fertilização nitrogenada para nutrição da planta e aplicação de fungicida na fase de desenvolvimento na lavoura.

A colheita foi realizada manualmente e para limpeza das sementes foi utilizado um sistema de peneiração *home made* desenvolvido especificamente para este tipo de semente.

#### *Extração de óleo*

Inicialmente a semente foi introduzida em um cozinhador marca Scott Tech modelo SMR600 – G que auxilia na remoção parcial de umidade e aquecimento da semente para a prensagem em prensa mecânica marca Scott Tech modelo ERT6011 – STD com capacidade nominal de 60 kg por hora. A prensagem foi realizada em equipamento extrator radial tubular que força a passagem da semente por um cilindro modificado para sementes pequenas, que em pequenos orifícios separa torta e óleo. Além disso, por filtração e decantação foi separada a borra do óleo. O óleo decantado foi também centrifugado a 3600 rpm. O resíduo sólido da centrifugação foi juntado a borra separada na decantação. Esta borra foi encaminhada para compostagem.

#### *Transesterificação*

Este último processo transforma o óleo extraído da semente em ésteres metílicos de ácidos graxos. A planta piloto utilizada (Fig. 1) tem a capacidade de produção de 100 L por batelada. Os insumos empregados na reação estão na Tabela 1 e a reação foi realizada a 65°C por 1 h.



**Fig. 1.** Registro fotográfico da planta de biodiesel.

#### *2.3 Análise do Ciclo de Vida (ACV)*

A ACV foi realizada com o software SimaPro 8.5.0.0, Professional PhD, desenvolvido por PRÉ

Consultants 2017. A base de dados usada foi o Ecoinvent 3.4 com método ReCiPe 1.06 Midpoint e Endpoint.

Para este estudo foi adotado como unidade funcional de 1kg de biodiesel produzido de semente de tabaco Solaris. A produtividade agrícola da lavoura é de 6 toneladas de semente por hectare em cada safra, equivalente a ocupação de 1,667 m<sup>2</sup> para produção de 1kg de semente.

Considerou-se para a de extração do óleo, a necessidade de 2,95 kg de sementes para obter 1kg de óleo, sendo esta quantidade a entrada para o processo final, que irá gerar 1kg de biodiesel.

A fig. 2 apresenta as fronteiras do sistema adotadas neste estudo cujo sistema tecnológico compreende as seguintes fases: cultivo da semente; extração do óleo em que a semente é desumidificada, prensada, centrifugada e estocada; por fim a produção do biodiesel, com o processo de transesterificação, decantação, evaporação de metanol excedente e centrifugação.

Os dados não disponíveis no banco de dados do Ecoinvent são coletados com visitas técnicas e entrevista diretamente dos responsáveis por cada fase do processo.

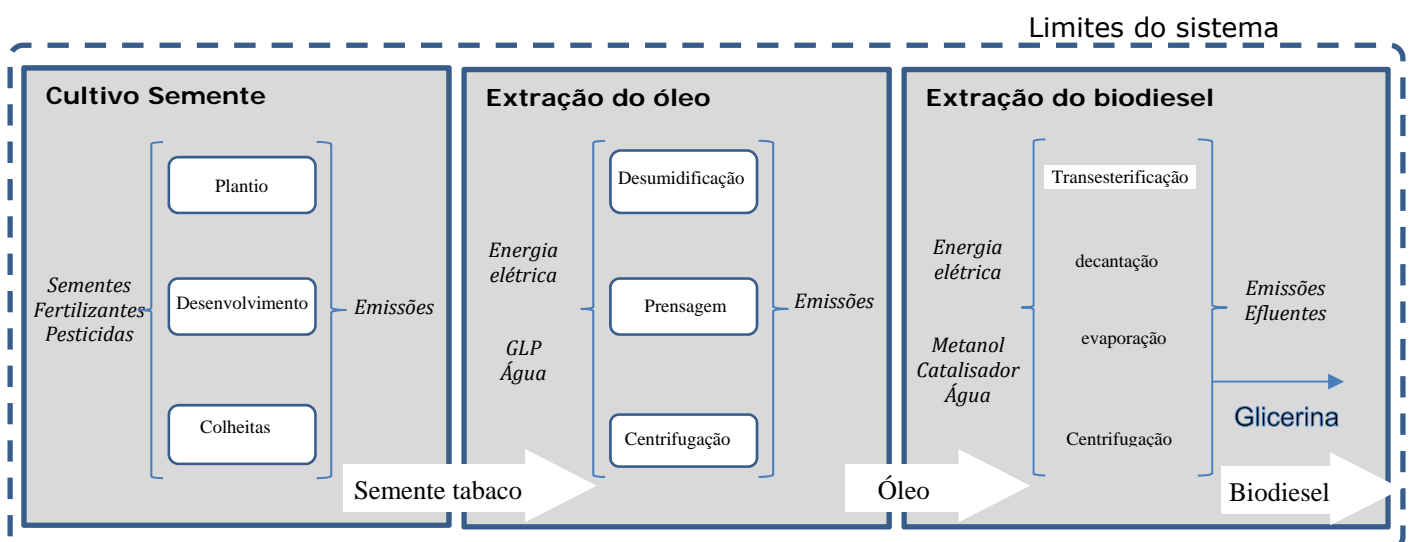


Fig. 2. Fronteiras do sistema para a ACV.

O método ReCiPe que já é utilizado para avaliar sistemas como a produção de biocombustíveis (Rocha et al. 2014, Fernández-Tirado et al. 2016, Harris et al. 2016), considera as seguintes categorias: mudanças climáticas (CC), depleção de ozônio (OD), acidificação terrestre (TA), eutrofização de água doce (FE), eutrofização marinha (EM), toxicidade humana (HT), formação fotoquímica de oxidantes (POF), formação de material particulado (PMF), ecotoxicidade terrestre (TET), ecotoxicidade de água doce (FET), ecotoxicidade marinha (MET), radiação ionizante (IR), ocupação de terras agrícolas (OAE), ocupação de terras urbanas (ULO), transformação de terras naturais (NLT), esgotamento de água (WD), depleção de recursos minerais (MRD) e esgotamento de recursos fósseis (FD). Além disso, apresenta os danos quanto a saúde humana, o ecossistema e recursos naturais.

### 3. Resultados

#### *Inventário de ciclo de vida*

A Tabelas 1 a seguir mostra os dados inventariados durante o cultivo do tabaco e colheita da semente, extração do óleo da semente e produção do biodiesel do respectivo óleo.

No inventário os agrotóxicos foram inseridos no software para posterior Análise de Impactos do Ciclo de Vida pelo seu princípio ativo, salvo o Mancozeb que existia no banco de dados do Ecoinvent. A Tab. 1 mostra em detalhe as quantidades das entradas e saídas adotadas no estudo com base nos dados de cultivo, extração de óleo e produção de biodiesel (transesterificação).

O inventário considerou os equipamentos da planta piloto da UNISC. Com base neste inventário, observa-se que há dois produtos (co-produtos) que precisam ser aproveitados, como a biomassa de tabaco, que corresponde a parte aérea e raízes, após a colheita das sementes e a glicerina. Neste trabalho não foram realizadas alocações de pesos para estes co-produtos, no entanto, o aproveitamento da glicerina pelo mercado e a produção de etanol pela biomassa restante, principalmente caule e raiz, podem minimizar os impactos da produção de biodiesel.

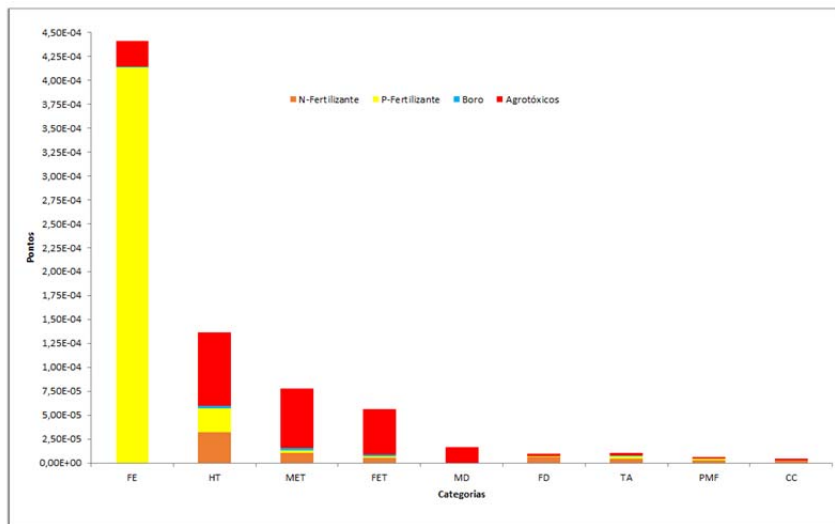
Neste estudo não foi inserido o impacto do consumo de CO<sub>2</sub> pelo fotossíntese durante o crescimento da planta. Esta entrada é positiva para a categoria mudanças climáticas, uma vez que remove carbono da atmosfera (Khatri et al. 2017).

**Tab 1.** Inventário de entradas e saídas do cultivo para obtenção de 1kg de semente de tabaco em 1,67m<sup>2</sup>.

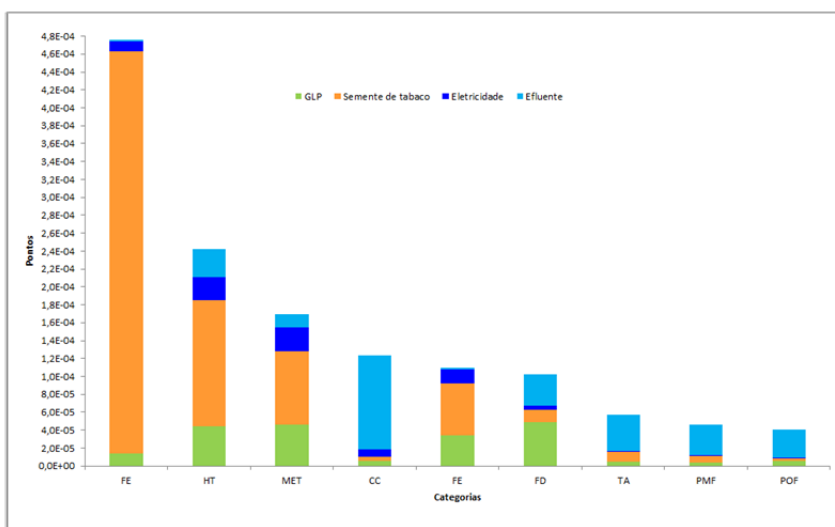
Principais etapas	Produtos/insumo/resíduo/energia	Quantidade	Unidade
Cultivo	Biomassa de tabaco Solaris	2,93	kg
	Ocupação de terras agriculturáveis	1,67	m <sup>2</sup>
	Diesel	8,96	g
	N-Fertilizante	34,63	g
	P-Fertilizante	21,30	g
	K-Fertilizante	23,67	g
	Ácido Bórico	3,33	g
	Fungicidas	1,50	g
	Herbicidas	1,21	g
	Inseticidas	0,97	g
Extração de óleo	Torta	1,85	kg
	GLP	0,15	kg
	Semente do Tabaco Solaris	2,95	kg
	Água potável	0,07	kg
	Eletricidade	0,76	kWh
	Águas residuais – não tratadas, EU-27		
	S	0,074	ton
Transesterificação	Disposição de resíduo oleoso (borra) para compostagem	0,059	kg
	Glicerina (co-produto)	0,1	kg
	Óleo de tabaco	1	kg
	Metanol	0,13	kg
	Etanol	0,05	kg
	Metóxido de Sódio	0,02	kg
	Eletricidade	28,92	kWh
	Metanol para o ar	0,0029	kg
Etanol para água	0,048	kg	

#### *Avaliação dos Impactos do Ciclo de vida (AICV)*

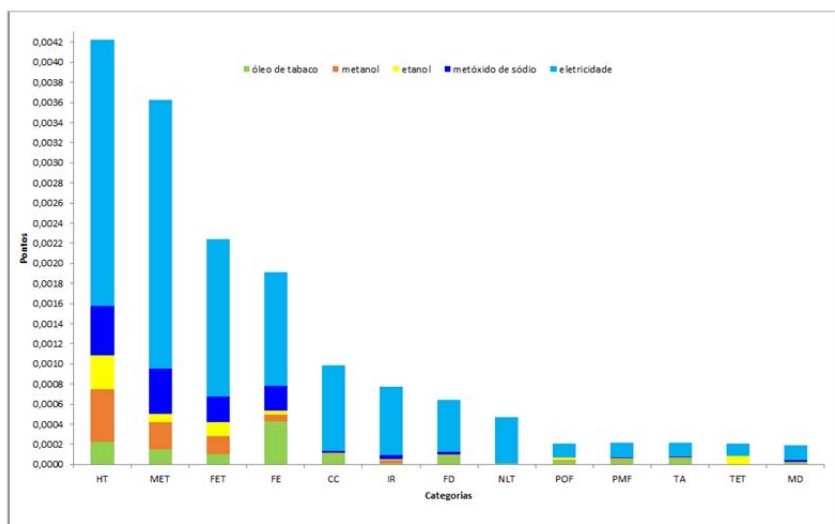
A AICV da produção de biodiesel foi estudada de forma a apresentar os impactos da produção agrícola do tabaco Solaris, da etapa de extração incluindo o impacto da produção de sementes relativa a parte agrícola e da produção de biodiesel que traz todo o impacto da obtenção de óleo, de outros insumos, energia e resíduos, conforme apresentado na Fig. 3.



A



B



C

**Fig. 3.** Gráficos com as principais categorias de impactos identificadas no cultivo (A), na extração de óleo (B) e na transesterificação (C), considerando as entradas e saídas que mais contribuíram para a geração de impactos ambientais a nível de midpoints, empregando o método ReCiPe 1.06.

Na etapa de cultivo o maior impacto é devido ao uso de fertilizantes e agrotóxicos, como mostra a Fig. 3A. De acordo com Krzyżaniak et al. (2018) o uso de fertilizantes pode levar de 30 a 56 vezes mais impacto na eutrofização de águas doces. A presença de fósforo no fertilizante com certeza é responsável por muitos impactos, no entanto, o nitrogênio também tem um papel relevante. Conforme apresentado por , aproximadamente 17% do total de nitrogênio consumido como ureia que é sublimado como  $\text{NH}_3 - \text{N}$  e a possibilidade de emissões de  $\text{N}_2\text{O}-\text{N}$ .

Pode-se constatar que o sistema de plantio leva a impactos em 9 das 17 categorias avaliadas e os principais resultados apontam para a lavoura de Tabaco Solaris ser potencialmente responsável pela eutrofização (0,000128kg P eq) de corpos d'água devido ao uso de P-fertilizante. Constata-se que os impactos encontrados podem ser reduzidos principalmente pela mudança da tecnologia de plantio, como vem acontecendo para várias culturas agrícolas que tem se tornado mais sustentáveis.

Na etapa de extração (Fig. 3B) o uso eletricidade mais GLP para a extrusora e o cozinhador funcionarem representam menor impacto do que a produção de semente na etapa de cultivo. Destaca-se que o processo de limpeza dos equipamentos gerando um efluente semelhante ao de cozinhas residenciais aparece como um impacto a ser minimizado, uma vez que apresenta demanda bioquímica de oxigênio alta, óleos e surfactantes e sólidos em suspensão. Este efluente é muito parecido com o efluente da etapa de transesterificação, agregando a esta etapa a presença de metanol e glicerina. Estes efluentes, das duas etapas, necessitam de tratamento, que também acarreta uma sequência de impactos (Daud et al. 2015).

Impactos negativos para o meio ambiente na produção de biodiesel estão visivelmente relacionados em várias categorias ao uso de energia para a reação e para a remoção de metanol que está em excesso no meio reacional (Fig. 3B). Geraldine Castanheira et al. (2014) destacam que eletricidade, fertilizantes, produtos químicos e uso de combustível fóssil contribuem para gases de efeito estufa gerados na produção de biodiesel que interferem diretamente na categoria mudanças climáticas (CC).

Com base na Fig 3C, observa-se que os impactos estão diretamente relacionados a obtenção da matéria-prima (óleo de tabaco) e consumo de eletricidade. Esta figura reúne todos as entradas e saídas até a obtenção de biodiesel e está em acordo com o que Sajid et al. (2016) apresentaram para o biodiesel de *Jatropha* e de óleos residuais. Na tab. 2 apresenta-se o impacto total e as principais entradas da produção de biodiesel, que contribuem para este impacto total.

Com relação aos endpoints, maiores danos estão relacionados aos recursos naturais empregados no ciclo de vida e as entradas que contribuem mais para isso são o uso de eletricidade na transesterificação e o ciclo de vida de produção do óleo de tabaco semelhante a resultados destacados para outras culturas oleaginosas (Escobar et al. 2014, Rocha, Capaz et al. 2014, Harris, Hottle et al. 2016, Sajid, Khan et al. 2016, Krzyżaniak, Stolarski et al. 2018).

As incertezas foram estimadas com o método de Monte Carlo (Tab. 3) para as categorias normalizadas que representam não menos que 25% da categoria de maior impacto. Melhorias ainda podem ser inseridas no processo, como o uso de lenha para gerar calor em substituição à eletricidade e minimizar o volume de efluente na etapa de lavagem. No entanto, estas são melhorias que podem ser implantadas em sistemas de produção industrial, uma vez que o estudo dos impactos ambientais a partir de uma planta piloto pode auxiliar a redução dos impactos na implantação em maior escala.

**Tab 2.** Impactos ambientais para as principais entradas da produção de biodiesel calculados para midpoint e endpoint.

Categoria de impacto	Unidade	Total	Óleo de tabaco	Metanol	Metóxido de sódio	Eletricidade
TET	species.yr	1,68E-10	2,73E-12	8,32E-13	1,04E-12	9,68E-11
ULC	species.yr	2,20E-10	6,12E-12	5,95E-11	9,38E-12	1,40E-10
FE	species.yr	2,44E-11	5,51E-12	7,54E-13	3,22E-12	1,44E-11
FET	species.yr	2,52E-12	1,12E-13	2,03E-13	2,87E-13	1,76E-12
TA	species.yr	4,69E-11	1,14E-11	1,26E-12	2,50E-12	3,01E-11
CC	species.yr	5,40E-08	6,16E-09	2,45E-10	7,35E-10	4,67E-08
ALO	species.yr	6,92E-09	2,43E-11	2,91E-09	1,81E-11	2,34E-09
MET	species.yr	6,99E-15	2,96E-16	5,14E-16	8,83E-16	5,15E-15
NLT	species.yr	9,94E-09	1,54E-10	5,09E-11	2,13E-11	9,70E-09
IR	DALY	1,67E-08	2,90E-10	7,21E-10	9,11E-10	1,48E-08
HT	DALY	3,47E-07	1,81E-08	4,33E-08	4,03E-08	2,18E-07
POF	DALY	4,25E-10	7,11E-11	1,10E-11	8,66E-12	2,68E-10
OD	DALY	7,86E-10	1,33E-10	9,65E-12	1,85E-11	6,19E-10
PMF	DALY	7,88E-07	1,55E-07	2,30E-08	3,88E-08	5,40E-07
CC HH	DALY	9,53E-06	1,09E-06	4,33E-08	1,30E-07	8,25E-06
FD	\$	1,42E+01	2,05E+00	1,66E-01	5,53E-01	1,14E+01
MD	\$	6,15E-03	5,83E-04	2,87E-04	3,22E-04	4,88E-03
Saúde Humana	DALY	1,07E-05	1,26E-06	1,10E-07	2,10E-07	9,02E-06
Ecossistema	species.yr	7,13E-08	6,36E-09	3,27E-09	7,91E-10	5,90E-08
Recursos	\$	1,42E+01	2,06E+00	1,67E-01	5,54E-01	1,14E+01

**Tab. 3** - Incertezas para a AICV de categorias de impacto para a produção de biodiesel de tabaco Solaris.

Categoria	Média	Mediana	Desvio padrão	Coeficiente de variação	Percentil	
					U (2,5%)	V(97,5%)
CC	0,00098	0,000941	0,000239	24,29	0,000651	0,001587
FE	0,00222	0,002079	0,000739	33,19	0,001335	0,003963
FET	0,00190	0,001713	0,000788	41,48	0,000996	0,003922
HT	0,00422	0,003657	0,002375	56,21	0,002241	0,009605
ME	0,00359	0,003338	0,001289	35,81	0,002053	0,00661
MET	5,73E-05	5,7E-05	7,96E-06	13,87	4,26E-05	7,41E-05

#### 4. Conclusão

Conclui-se que o ciclo de vida da produção de biodiesel de tabaco Solaris destaca impactos relacionados a produção de sementes e extração do óleo, considerado na etapa final de transesterificação como os impactos da matéria-prima principal. A energia necessária para a reação também é relevante, assim como os produtos químicos usados desde o plantio até a conversão em ésteres metílicos.

Impactos relacionados aos efluentes também são identificados, no entanto, dependendo do manuseio e limpeza dos equipamentos, podem ser minimizados. Assim, considerando todo o processo e comparando com outras iniciativas de produção de avaliação do ciclo de vida de produção de biodiesel, entende-se que produzir biodiesel de semente de tabaco Solaris leva a impactos semelhantes aqueles que são identificados com outras culturas. Por último destaca-se que os danos totais para a produção de 1 kg de biodiesel de óleo de tabaco Solaris são 1,07E-05 Daly, 7,13E-08 species.yr e 1,42E+01 \$ para para a saúde humana, ecossistema e recursos naturais, respectivamente.



*Referências*

14040, I., 2006. Environmental Management—Life Cycle Assessment—Principles and framework. Geneva, Switzerland: International Organisation for Standardization.

Daud, N. M., S. R. Sheikh Abdullah, H. Abu Hasan and Z. Yaakob, 2015. Production of biodiesel and its wastewater treatment technologies: A review. *Process Safety and Environmental Protection*. 94, 487-508.

de Souza Schneider, R. d. C., L. A. Anacker, M. da Silva Szarblewski, L. d. F. F. da Silva, M. S. A. Moraes and V. A. Corbellini, 2017. Bioethanol Production from Residual Tobacco Stalks. *Current Journal of Applied Science and Technology*. 24, 9.

Escobar, N., J. Ribal, G. Clemente and N. Sanjuán, 2014. Consequential LCA of two alternative systems for biodiesel consumption in Spain, considering uncertainty. *Journal of Cleaner Production*. 79, 61-73.

Fernández-Tirado, F., C. Parra-López and M. Romero-Gámez, 2016. Life cycle assessment of biodiesel in Spain: Comparing the environmental sustainability of Spanish production versus Argentinean imports. *Energy for Sustainable Development*. 33, 36-52.

Geraldes Castanheira, É., R. Grisoli, F. Freire, V. Pecora and S. T. Coelho, 2014. Environmental sustainability of biodiesel in Brazil. *Energy Policy*. 65, 680-691.

Guil-Guerrero, J. L., J. L. Guil-Layne and Á. Guil-Layne, 2017. Bioprospecting for seed oils from wild plants in the Mediterranean Basin for biodiesel production. *Journal of Cleaner Production*. 159, 180-193.

Harris, T. M., T. A. Hottle, K. Soratana, J. Klane and A. E. Landis, 2016. Life cycle assessment of sunflower cultivation on abandoned mine land for biodiesel production. *Journal of Cleaner Production*. 112, 182-195.

Kaercher, J. A., R. d. C. de Souza Schneider, R. A. Klamt, W. L. Teixeira da Silva, W. L. Schmatz, M. d. S. Szarblewski and E. L. Machado, 2013. Optimization of biodiesel production for self-consumption: considering its environmental impacts. *Journal of Cleaner Production*. 46, 74-82.

Khatri, P., S. Jain and S. Pandey, 2017. A cradle-to-gate assessment of environmental impacts for production of mustard oil using life cycle assessment approach. *Journal of Cleaner Production*. 166, 988-997.

Krzyżaniak, M., M. J. Stolarski and K. Warmiński, 2018. Life cycle assessment of Virginia mallow production with different fertilisation options. *Journal of Cleaner Production*. 177, 824-836.

Lima, Â. M. F., E. A. Torres, A. Kiperstok and G. de Freitas Moreira Santos, 2017. Environmental impacts of the biodiesel production chain of cotton seed in Bahia, Brazil. *Clean Technologies and Environmental Policy*. 19, 1523-1534.

Nikkhah, A., M. Khojastehpour, B. Emadi, A. Taheri-Rad and S. Khorramdel, 2015. Environmental impacts of peanut production system using life cycle assessment methodology. *Journal of Cleaner Production*. 92, 84-90.

Poltronieri, P. (2016). Chapter 6 - Tobacco Seed Oil for Biofuels. *Biotransformation of Agricultural Waste and By-Products*, Elsevier: 161-187.

Porte, A. F., R. d. C. de Souza Schneider, J. A. Kaercher, R. A. Klamt, W. L. Schmatz, W. L. Teixeira da Silva and W. A. Severo Filho, 2010. Sunflower biodiesel production and application in family farms in Brazil. *Fuel*. 89, 3718-3724.

Rocha, M. H., R. S. Capaz, E. E. S. Lora, L. A. H. Nogueira, M. M. V. Leme, M. L. G. Renó and O. A. d. Olmo, 2014. Life cycle assessment (LCA) for biofuels in Brazilian conditions: A meta-analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 37, 435-459.

Sajid, Z., F. Khan and Y. Zhang, 2016. Process simulation and life cycle analysis of biodiesel production. *Renewable Energy*. 85, 945-952.

Sharma, K., M. K. P. Diwakar, K. Balakrishnan and S. V. Gopalakrishnapillai, 2015. Biodiesel Production from Tobacco (*Nicotiana Tabacum*) Seed Oil. *Journal of Earth, Environment and Health Sciences*: 61-65.

Usta, N., B. Aydog˘an, A. H. on, E. Ug˘uzdog˘an and S. G. zkal, 2010. Properties and quality verification of biodiesel produced from tobacco seed oil. *Energy Conversion and Management*: 9.