

Análise do Ciclo de Vida das Tecnologias BTL: Estado da Arte e Recomendações

Maria Luiza G. Renó¹

Electo E. S. Lora¹

Cássia M. L. Ugaya²

1. Núcleo de Excelência em Geração Termelétrica e Distribuída, Engenharia Mecânica, Universidade Federal Itajubá , Minas Gerais, Brasil

2. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento Acadêmico de Mecânica, Curitiba, Paraná, Brasil.

Resumo

Nas últimas décadas, a utilização intensiva e pouco racional das fontes de energia derivadas de combustíveis fósseis tem ocasionado mudanças climáticas, devido ao aumento da emissão de poluentes na atmosfera, principalmente do CO₂. A produção de combustíveis líquidos a partir da biomassa destaca-se atualmente como uma das principais alternativas energéticas com baixo impacto ambiental, podendo substituir os combustíveis derivados do petróleo no setor de transporte. O presente trabalho mostra uma revisão dos principais estudos de Análise de Ciclo de Vida (ACV) realizados para a produção de biocombustíveis pela rota de produção BTL (*Biomass to Liquid*). Mediante esta revisão é possível conhecer alguns dos principais impactos ambientais associados à produção deste tipo de combustíveis, em função dos insumos energéticos e materiais demandados em sua produção. Da mesma forma, é possível a elaboração de algumas recomendações na sua produção que permitam aumentar os ganhos ambientais.

Abstract

In the last decades, the intensive and no rational use of energy resources from fossil fuels has been causing climatic changes, due to the increase in air pollutants, mainly CO₂. The production of liquid fuels from biomass stands out as one of the principal energy alternatives with low environmental impact that could substitute the fuels derived from petroleum in the transportation section. The present work shows a revision from the main Life Cycle Analysis (LCA) studies performed for biofuel production by BTL (Biomass to Liquid) route. In this revision, it is possible to identify some of the main environmental impacts associated with this type of fuel production, as a function of the energy and material required to its production. Likewise, it is possible to elaborate recommendations in fuel production that allow the increase of benefits to the environment.

1. Introdução

Os combustíveis BTL (*Biomass to Liquid*) são aqueles produzidos a partir de biomassas utilizando-se uma rota termo-química. O objetivo é produzir substâncias líquidas com propriedades semelhantes a dos combustíveis fósseis.

Combustíveis BTL podem ser produzidos a partir de vários tipos de biomassa e seus resíduos, tais como: palha, desbastes florestais, bagaço, resíduos de papel ou madeira e compósitos de fibra. Atualmente, trabalha-se no desenvolvimento tecnológico para produzir combustível a partir da gaseificação da biomassa, e os principais combustíveis possíveis de ser obtidos por esta rota, chamada de termoquímica, são: metanol, dimetil éter (DME) e hidrocarbonetos, estes últimos obtidos pelo processo Fisher-Tropsch (FT).

A vantagem dos combustíveis BTL é a oportunidade de tornar o setor de transportes mais independente das fontes energéticas fósseis e, a médio e longo prazo, suprir uma parte importante da demanda do mesmo. Outra vantagem é o potencial destes combustíveis em reduzir as emissões de dióxido de carbono (DENA, 2007).

2. Processo de produção dos combustíveis BTL

2.1 Metanol

O metanol pode ser produzido a partir de quase todos materiais orgânicos. O processo de produção do metanol a partir da biomassa é através da gaseificação, seguida pela síntese do metanol e purificação. Porém, a gaseificação da biomassa pode resultar em um gás com uma baixa relação H₂:CO₂. Estudos revelam dois métodos para ajustar a relação H₂:CO₂ para produção do metanol (Cifre e Badr, 2007) :

- Remoção do dióxido de carbono: Excesso de carbono na forma de CO₂ é removido por um processo de separação gás ácido.
- Adição de hidrogênio. Uma quantidade adequada de H₂ é adicionada para a hidrogenação do CO₂.

O metanol é produzido pela hidrogenação dos óxidos de carbono na presença de catalisadores baseados em óxido de cobre, óxido de zinco, ou óxido de cromo, conforme as equações (1) (Ouellette et al., 1995):



A primeira reação é a síntese do metanol primário. Uma pequena quantidade de CO₂ na alimentação (2 – 10%) age como um promotor desta reação primária e ajuda a manter a atividade catalítica. A estequiometria de ambas as reações é satisfeita quando o coeficiente R (equação (2)) apresenta um mínimo de 2,03.

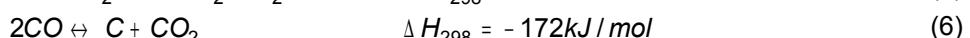
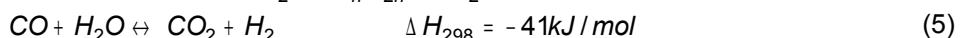
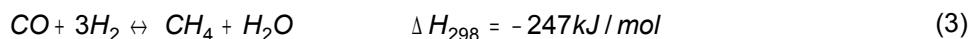
$$R = \frac{\text{H}_2 - \text{CO}_2}{\text{CO} + \text{CO}_2} \quad (2)$$

Depois do resfriamento e separação das impurezas do gás, o metanol “cru” é processado numa unidade de destilação para alcançar a qualidade requerida.

2.2 Hidrocarbonetos Fisher-Tropsch (FT)

O gás de síntese, obtido da gaseificação da biomassa, é convertido em hidrocarbonetos através do processo Fischer-Tropsch, processo este que pode ser realizado em baixas ou altas temperaturas. Em baixas temperaturas, costuma ser empregado na produção de ceras, que após a etapa de hidroprocessamento são convertidas em nafta ou óleo diesel. Já em altas temperaturas, é utilizado na produção de gasolina e alfa-olefinas (Wakatsuki et al., 2001).

A química básica da síntese de Fischer-Tropsch pode ser descrita pelas seguintes equações (Bartholomew e Farrauto, 2005).



A reação (3) corresponde à metanização, a equação (4) à produção de hidrocarbonetos mais pesados que o metano, a reação (5) à reação de deslocamento água–gás (*water gas shift – WGS*). A reação (6) é a reação *Boudouard*. A reação de metanização e a reação *Boudouard* são indesejáveis, enquanto a reação (4) é desejável, sendo a reação mais dominante quando se aplica um catalisador composto de cobalto.

A formação de hidrocarbonetos pesados ocorre através da dissociação do monóxido de carbono. Em cada estágio do processo de crescimento as espécies superficiais (primeiramente, o carbono superficial) têm a opção de dessorção para produzir um alcano, ser hidrogenados, ou continuar o crescimento da rede através da adição de outro CH₂ (Dry, 2001).

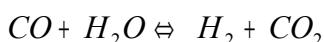
O hidroprocessamento, terceira etapa do processo de conversão, é utilizado para o tratamento de cera produzida no processo FT a baixas temperaturas. A cera é composta basicamente de parafinas lineares e pequenas quantidades de olefinas e oxigenados. A hidrogenação das olefinas e dos compostos oxigenados, além do hidrocraqueamento da cera, pode produzir nafta e óleo diesel (Vosloo, 2001).

2.3 Dimetil éter

O Dimetil éter é um combustível sintético semelhante ao GLP (Gás Liquefeito de Petróleo), o DME é gasoso em condições ambientais, mas liquefeito em pressões moderadas (5 – 8 bar), logo o DME pode ser misturado com o GLP, em concentrações de 10 a 20% (Fleisch, 2002).

O DME tem um alto número de cetano e queima de forma mais limpa comparado ao óleo diesel fóssil. Por outro lado, o DME contém cerca da metade do poder calorífico do óleo diesel fóssil, causando um aumento do consumo de combustível, levando a necessidade de um tanque de combustível duas vezes maior em um veículo, para se manter a mesma autonomia (Ohno, 2001).

Originalmente o DME era produzido através da desidratação do metanol (Equação (7)), mas recentemente foram desenvolvidos processos de produção de DME a partir do gás de síntese (Equação (8)) (Kavalov e Peteves, 2005):



A obtenção do DME a partir do gás de síntese é mais eficiente, pois envolve apenas um processo ao invés de dois (síntese do metanol e desidratação do metanol). A síntese do metanol diretamente do gás de síntese requer pressão de 60 – 70 bar e temperatura de 210 – 300°C, a reação é altamente exotérmica, gerando vapor a aproximadamente 40 bar (Ekbom et al., 2003).

3. Análise de Ciclo de Vida dos Combustíveis BTL

A Norma ISO 14040 define a Análise de Ciclo de Vida (ACV) como a compilação dos fluxos de entradas e saídas e avaliação dos impactos ambientais associados a um produto ao longo do seu ciclo de vida. Para uma análise abrangente do ciclo de vida de um determinado produto envolve a fase de extração das matérias-primas, passando pela fase de produção, distribuição, consumo, uso e até sua transformação em lixo ou resíduo (NBR ISO 14040, 2001).

Os trabalhos realizados em ACV dos biocombustíveis visam a comparar diferentes rotas de produção de combustíveis BTL (*Biomass to Liquid*) desde o ponto de vista ambiental e energético. Também procuram comparar os combustíveis BTL com os combustíveis fósseis, em relação aos impactos ambientais e aos balanços energéticos.

Na atualidade as pesquisas realizadas na ACV da produção de combustível pela tecnologia BTL estão centradas nas seguintes questões (RENEW, 2003):

- Qual das rotas de produção BTL causa menores impactos ambientais? Ou qual combustível obtido pela rota BTL (DME, metanol, FT diesel) causa menor impacto ao meio ambiente? Considerando os impactos mais analisados atualmente: aquecimento global, oxidação fotoquímica, acidificação e eutrofização.

- Há diferença na escolha das biomassas, qual delas é ecologicamente melhor para os diferentes processos de conversão? Como cada biomassa tem propriedades e valor energético distintos, poderia influenciar nos resultados determinados pela ACV.
- Qual é a parcela de contribuição no impacto ambiental para cada etapa de produção (Figura 1) do biocombustível estudado?

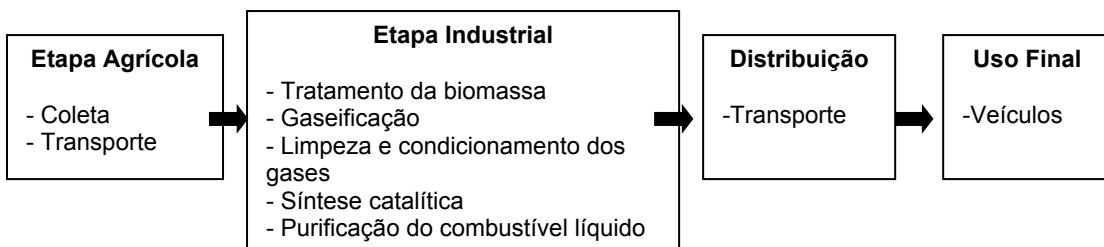


Figura 1 – Principais etapas do processo de produção de biocombustível pela rota BTL

- Quais são os pontos possíveis para melhoria? Através dos balanços energéticos e avaliação dos impactos ambientais obtidos em cada fase de produção é possível analisar as fases mais críticas nestes aspectos e as possibilidades para melhorar a eficiência energética e minimizar os problemas ambientais.
- Qual o comportamento do ponto de vista ambiental do biocombustível se houver mudança do cenário estudado? Ou seja, se os estudos de ACV forem realizados em regiões diferentes ou com tecnologias BTL distintas.

No trabalho de Lindholm (2006), foram determinados os principais impactos ambientais e requerimentos energéticos para a produção da matéria-prima madeira (cada operação do sistema florestal). Os impactos ambientais considerados foram: aquecimento global, acidificação, oxidação fotoquímica, eutrofização. Da tabela 1 observa-se a contribuição (em porcentagem) de cada etapa da produção de madeira para os impactos ambientais avaliados.

Tabela 1 – Resultados obtidos para os impactos ambientais (Lindholm, 2006).

	Aquecimento global GWP (100 yr)	Oxidação Fotoquímica	Acidificação	Eutrofização
Produção de sementes	2,20 %	1,91 %	2,44%	1,53%
Silvicultura	9,83 %	11,48 %	4,88%	6,32%
serrarias	33,60 %	35,41 %	43,9%	46,33%
Frete secundário	54,35 %	51,20 %	46,34%	45,82%

Os resultados para os impactos ambientais estão em correspondência com o requerimento energético (tabela 2), a operação frete secundário tem maior potencial de impacto que às operações de produção de sementes, silvicultura e operações madeireira (tabela 1), isto é devido a maior demanda energética do frete secundário, principalmente de combustíveis fósseis.

Tabela 2 – Requerimento energético para cada operação florestal (Lindholm, 2006).

	Requerimento energético (MJ/m ³ de madeira)
Produção de sementes	5,3
Silvicultura	16
Operações de madeireira	65
Frete secundário	113

Observa-se que o frete secundário e as operações de madeireira são os maiores consumidores de energia, em média, 54% da energia total requerida é consumida pelo primeiro, e 35% pelo segundo.

Quanto ao impacto ambiental gerado pela produção dos combustíveis BTL, no trabalho de Tuchsmid e Jungbluth (2007) foi feita uma avaliação das cargas ambientais identificadas no inventário da produção de Diesel FT e DME obtido a partir de tecnologias e biomassas diferentes. As companhias responsáveis pela produção dos combustíveis foram: Umwelt-und Energietechnik Freiberg (UET), Clausthaler Umwelttechnik Institut (CUTEC), CHEMREC Gasification Technology. (CHEMREC).

Na tabela 3, Tuchsmid e Jungbluth (2007) considerou as etapas de produção da biomassa até o processamento e distribuição do combustível produzido, nota-se que o uso da água para a produção de BTL a partir da madeira ocasiona um impacto ambiental muito alto, quanto o processo de gaseificação de leito fluidizado circulante centralizado da biomassa palha provoca impactos muitos altos para: depleção abiótica, aquecimento global, oxidação fotoquímica, comparando a mesma tecnologia com a matéria-prima madeira.

Tabela 3 – Principais impactos ambientais na produção de combustíveis BTL referentes a 1 MJ de combustível (Tuchschenmid e Jungbluth, 2007).

	Biomassa	palha	palha	Madeira	Madeira	Madeira
	Processo	Gaseificação de Leito Fluidizado Circulante Centralizado	Gaseificação de Fluxo Arrastado Centralizado	Gaseificação de Leito Fluidizado Circulante Centralizado	Gaseificação de Fluxo Arrastado Centralizado	Gaseificação de Fluxo Arrastado de licor negro
	Código Companhia	CFB CUTEC	CEF UET	CFB CUTEC	CEF UET	BLEF-DME CHEMREC
Indicador de categoria	Produto	BTL-FT	BTL-FT	BTL-FT	BTL-FT	BTL-DME
Demandas energéticas	MJ-Eq	187%	116 %	169 %	128 %	100 %
Depleção abiótica	kg Sb eq	270%	128 %	165 %	128 %	100 %
Aquecimento global	kg CO ₂ eq	258%	107 %	171 %	116 %	100 %
Oxidação Fotoquímica	kg C ₂ H ₄ eq	358%	100 %	289 %	102 %	139 %
Acidificação	kg SO ₂ eq	190%	100 %	176 %	127 %	130 %
Eutrofização	kg PO ₄ eq m ³	207%	106 %	175 %	117 %	100 %
Uso da água		151%	100 %	673 %	510 %	396 %
	Mínimo	Máximo				
Impacto muito baixo	100 %	115 %				
Impacto baixo	116 %	150 %				
Impacto alto	151 %	250 %				
Impacto muito alto	251 %					

No trabalho de Baitz et al. (2004), foi realizado um estudo de ACV para o combustível diesel obtido a partir da síntese Fischer-Tropsch, através do Processo Choren. Neste estudo foi considerado desde a produção da matéria-prima biomassa até o uso do biocombustível num motor a combustão, e três cenários foram aplicados a ACV:

- Cenário 1: Neste cenário a biomassa (madeira) é usada para gerar a eletricidade e o hidrogênio necessário ao processo. Portanto a planta trabalha de forma auto-suficiente e dificilmente requer qualquer suprimento energético externo.
- Cenário 2: Representa a possibilidade de produzir energia (hidrogênio) na base da energia renovável. Desta forma, a taxa de produção do biocombustível por kg de madeira será significativamente maior.
- Cenário 3: O hidrogênio necessário será produzido no processo. Oxigênio e Nitrogênio são comprados externamente, e a eletricidade é comprada de uma rede concessionária alemã.

Os resultados obtidos da ACV para os três cenários estudados e referentes ao impacto ambiental foram comparados ao diesel fóssil convencional, o que pode ser visualizado na Figura 2.

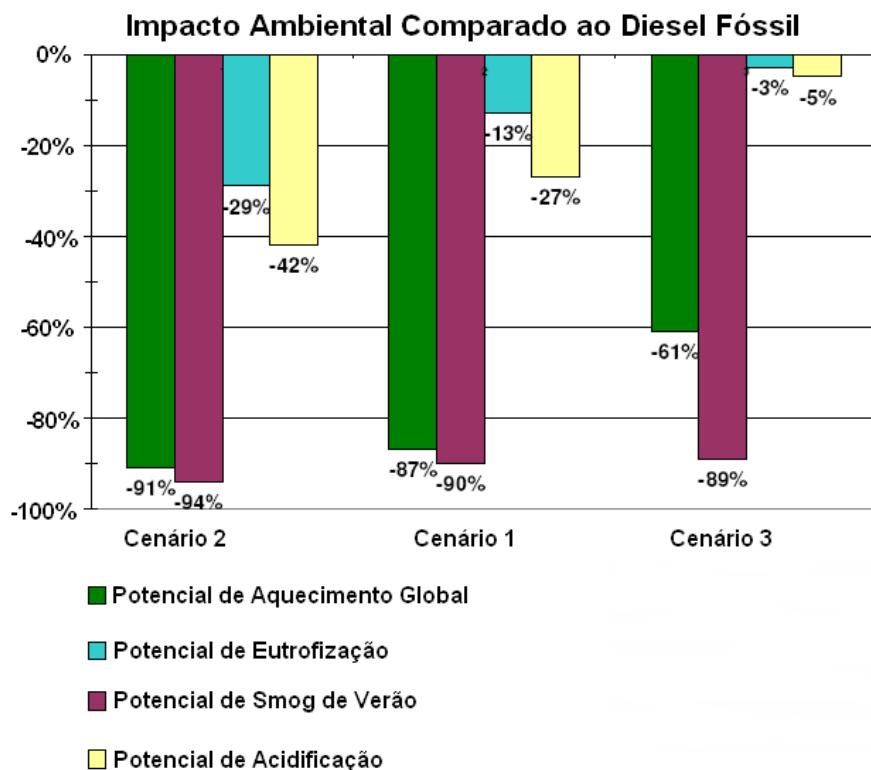


Figura 2 – Potencial de Redução de Impacto Ambiental para diferentes Cenários Tecnológicos (Baitz et al., 2004).

Os valores negativos da Figura 2 indicam que o diesel FT apresenta grandes vantagens ecológicas comparado ao diesel fóssil. O cenário 1 e 2 revelam alto potencial de redução nos aspectos investigados, principalmente o Potencial de smog de verão e de aquecimento global. A redução do potencial de aquecimento global é devido ao uso de madeira como matéria-prima para produzir o diesel FT. Pois a árvore absorve CO₂ durante a fase de seu crescimento, via fotossíntese, assim a madeira apresenta uma baixa emissão de CO₂.

Já a redução do potencial de smog de verão é devido a dois efeitos:

- A emissão de hidrocarbonetos provenientes da extração e refino dos óleos crus para produzir óleo diesel. Já, as emissões de hidrocarbonetos provenientes da planta Choren foram consideradas insignificantes.
- Emissões reduzidas de hidrocarbonetos nos gases de exaustão quando se utiliza diesel FT ao invés de diesel fóssil convencional nos motores de combustão automotivos.

Quanto ao potencial de acidificação e eutrofização, estas são mais sensíveis à mudança de energia externa, materiais auxiliares, variação nas distâncias transportadas, e tipo de madeira.

Em relação ao requerimento energético para a produção de combustíveis pela rota BTL, Unnasch (2005) determinou o consumo energético para produzir metanol e diesel FT, e comparou com o requerimento energético dos mesmos combustíveis obtidos a partir da gaseificação do carvão e da reforma do gás natural (tabela 4).

Tabela 4 – Energia necessária a produção de metanol por diferentes rotas termo-químicas (Unnasch, 2005).

Parâmetro	Reforma do Gás natural	Gaseificação do Carvão	Gaseificação da biomassa
Metanol			
Matéria-prima (GJ/ton)	34	40	48
Matéria-prima (J/J)	1,39	1,72	2
Eficiência térmica (%)	72	58	50
Diesel FT			
Matéria-prima (kWh/kg)	0 – 6	10 – 22,4	0
Matéria-prima (J/J)	1,63	2,35	2,22
Eficiência térmica (%)	61,5	42,5	45

Observa-se na tabela 4 observa-se que atualmente a reforma do gás natural é o processo de melhor eficiência térmica para obter o metanol e o diesel FT. O diagrama de Sankey (Figura 3) mostra com maiores detalhes a eficiência líquida do processo de produção do metanol a partir de biomassa.

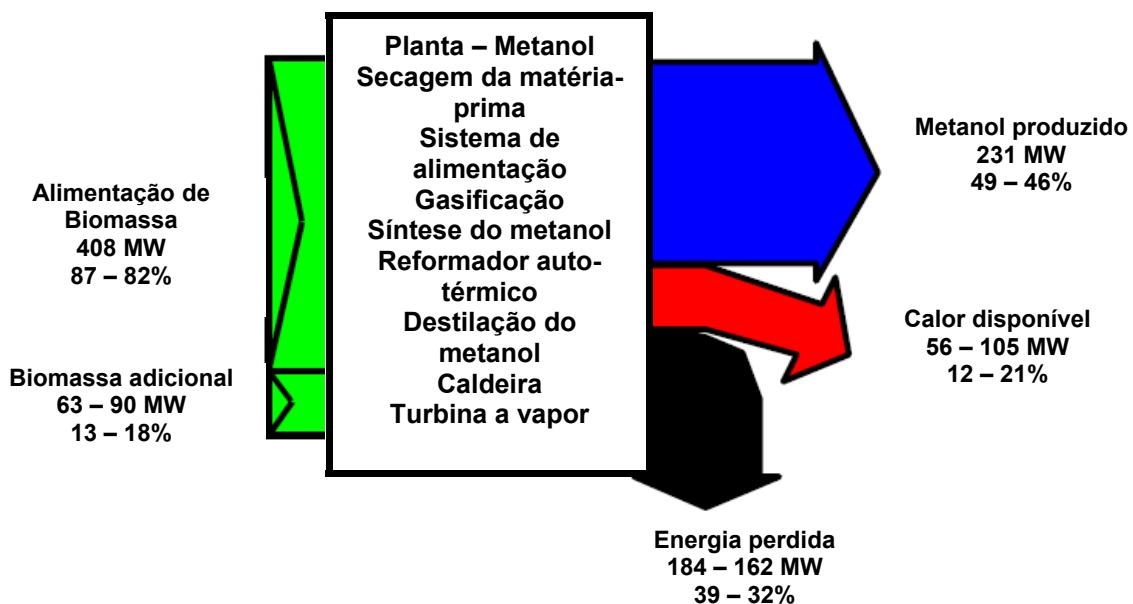


Figura 3 – Diagrama de Sankey para a eficiência da produção do metanol a partir de biomassa (Ecotraffic R&D AB, 1997).

4. Recomendações

A tecnologia BTL de conversão de biomassa a combustível assume importância ao Brasil pelos seguintes fatos:

- O combustível pode ser produzido a partir de biomassas e resíduos orgânicos que não são matérias-primas a produção de alimentos. Por exemplo: bagaço e a palha de cana-de-açúcar;
- O Brasil dispõe de mais de 100 milhões de hectares de terras degradadas, subutilizadas e adequadas à expansão da agroenergia, logo não há necessidade de invadir e degradar áreas de preservação, como a região Amazônica;
- A expansão da agroenergia está prevista para outras culturas (além da cana-de-açúcar) com elevada produtividade energética como a palma, eucalipto, capim elefante, etc.

O atrativo atual dos BTL ao Brasil tem impulsionado o desenvolvimento de projetos, como o projeto RAUDI-METANOL, unidade pré-comercial para aproveitamento do excedente da biomassa (bagaço e palhas) via gaseificação e posterior síntese do metanol. Os desafios deste projeto são desenvolver um processo de gaseificação adequado à biomassa e otimizar os processos

envolvidos, buscando a viabilidade econômica. Para tal, planeja-se a integração entre a usina de açúcar e álcool com a unidade de gaseificação e síntese de metanol (Fiashi e Audi, 2005), com o objetivo do aproveitamento energético do vapor gerado durante o processo de obtenção do metanol para as caldeiras da usina.

Uma opção interessante para utilização do combustível BTL metanol seria na produção do Biodiesel. Este combustível é resultante do processamento do óleo obtido do esmagamento das sementes de diversas plantas oleaginosas. Durante o processo de transesterificação metílica, a qual se aplica um catalisador químico e o metanol, gerando o glicerol e o biodiesel, poderia substituir o metanol de origem fóssil, normalmente usado, por um de origem renovável, como o obtido pela rota BTL (Figura 5).

Realizar um estudo de Análise de Ciclo de Vida do processo de produção de biodiesel usando metanol obtido pela rota BTL é uma das recomendações do trabalho presente. Assim poderia estar comparando este estudo, em termos de impactos ambientais e eficiência energética, com os estudos já realizados de ACV na produção de biodiesel, utilizando metanol de origem fóssil.

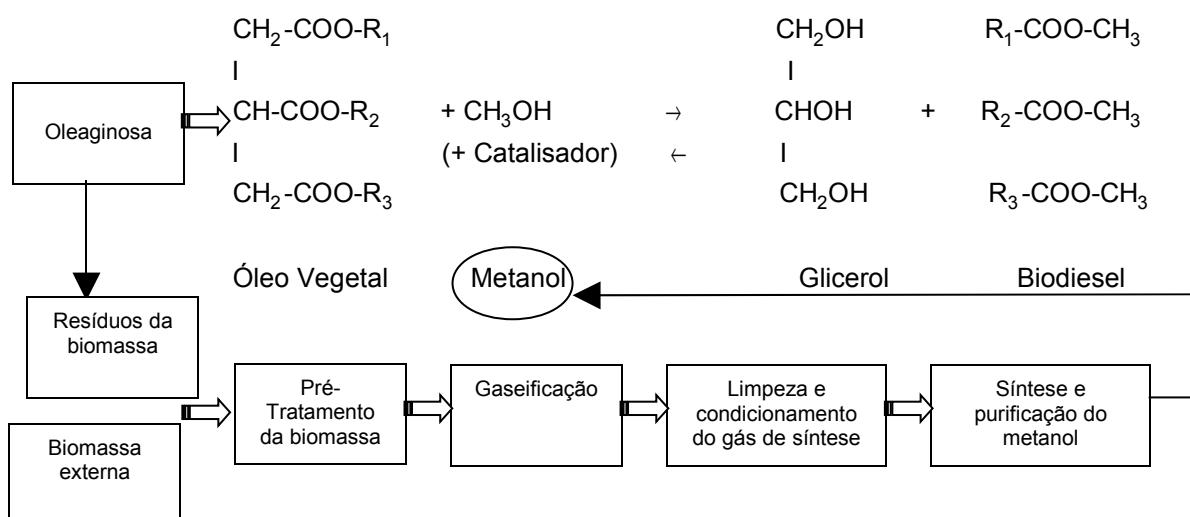


Figura 5 – Processo de Produção do Biodiesel a Partir de Metanol Renovável

5. Conclusões

O trabalho apresentado mostrou através da ferramenta Análise de Ciclo de Vida as vantagens quanto ao impacto ambiental dos combustíveis obtidos pela rota BTL (*Biomass to Liquid*) em relação ao diesel convencional, principalmente para o impacto aquecimento global, considerado um dos principais problemas ambientais da atualidade.

Através desta ferramenta, também se pode concluir que existem diferenças claras quanto ao tipo de biomassa selecionada e tecnologia aplicada. Por exemplo, quando realiza uma gaseificação de leito fluidizado circulante centralizado com a matéria-prima palha e madeira, esta apresenta maiores vantagens de um ponto de vista ambiental. Portanto, seria viável analisar uma série de tipos de biomassas para uma mesma tecnologia de gaseificação, a fim de obter a biomassa que apresenta maiores benefícios ambientais e energéticos.

Outro fato obtido nos resultados é a ligação do consumo energético quanto ao impacto ambiental. Na produção de matéria-prima (madeira), a atividade que consome mais energia (frete secundário) também é a que mais contribui para os impactos ambientais. Isto por que, esta atividade consome combustível fóssil como fonte energética. Logo, a implementação de medidas de eficiência energética nesta etapa da cadeia produtiva contribuiria significativamente na melhora do ganho energético deste tipo de combustível renovável. Como também, os investimentos nas tecnologias

empregadas para a produção do combustível BTL para a melhoria da eficiência energética, também minimizaria os impactos ambientais gerados.

Finalmente, uma das recomendações deste trabalho seria realizar um estudo de ACV da produção de biodiesel, utilizando metanol obtido a partir da rota BTL e assim comparar com os estudos já realizados de ACV na produção do biodiesel com metanol de origem fóssil.

Palavras-chaves: Combustível BTL, Análise de Ciclo de Vida, Biomassa.

Agradecimentos

Os autores agradecem o suporte financeiro dado pela FAPEMIG – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais e CNPq – Conselho Nacional de Pesquisas.

6. Referências

- [1] AUTOR(ES), O.U.; INSTITUIÇÃO; Título do trabalho em Negrito; Título do Livro, Revistas ou Anais Onde se Encontra o Artigo; Vol.; Num.; Editora; Local; Mês; Ano.
- [1] DENA, **Biomass to Liquid – BTL Implementation Report**, 2007, Disponível em: www.dena.de
- [2] CIFRE, P.G.; BADR, O.; **Renewable Hydrogen Utilization for the Production of Methanol**; Energy Conversion and Management; Vol. 48; 2007.
- [3] OULLETTE, N.; ROGNER, H. H.; SCOTT, D. S.; **Hydrogen from Remote Excess Hydroelectricity. Part II: Hydrogen Peroxide of Biomethanol**; In. J. Hydrogen Energy; Vol. 20; 1995.
- [4] WAKATSUKI, T. et al.; **Development of a High Efficiency GTL Process Based on CO₂/Steam Reforming of Natural Gas and Slurry Phase FT Synthesis**; VI Natural Gas Conversion Symposium; Alaska; USA; 2001.
- [5] BARTHOLOMEW, C. H.; FARRAUTO, R. J.; **Fundamentals of Industrial Catalytic Processes**; 2nd edition; Wiley; 2005.
- [6] DRY, M. E.; **High Quality Diesel via the Fischer-Tropsch Process – a Review**; Journal of Chemical Technology and Biotechnology; Vol. 77; 2001.
- [7] VOSLOO, A. C.; **Fischer-Tropsch: a Futuristic View**; Fuel Processing Technology; Vol. 71; 2001.
- [8] FLEISCH, T.; **Prospects for DME as a Multi-Purpose Fuel**; Presentation at the IBC Gas to Liquids Conference; Milan; 2002.
- [9] OHNO, O.; **A New DME Production Technology and Operation Results**, 4th Doha Conference on Natural Gás; Japan; 2001.
- [10] KALOV, B.; PETEVES, S. D.; **Status and Perspectives of Biomass to Liquid Fuels in the European Union**; 2005; Disponível em: www.irc.ee
- [11] EKBOM, T. et al.; **Technical and Commercial Feasibility Study of Black Liquor Gasification with Methanol/DME Production as Motor Fuels for Automotive Uses – BLGMF**; 2003; Disponível em: www.chemrec.se
- [12] NBR ISO 14040; **Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e Estrutura**; ABNT; Rio de Janeiro; 2001.
- [13] RENEW; **Renewable Fuels for Advanced Powertrains Integrated Project Sustainable Energy Systems**; 2003; Disponível em: www.renew-fuel.com

- [14] LINDHOLM, E. L.; **Energy Use in Swedish Forestry and its Environmental Impact**; Licentiate Thesis; Institutionen för Biometri och Teknik; 2006.
- [15] TUCHSCHMID, M.; JUNGBLUTH, N.; **Results of the Life Cycle Assessment of Different Biomass Fuels**; Renewable Fuels for Advanced Power Train Summer School; Switzerland; 2007.
- [16] BAITZ, M. et al.; **Comparative Life-Cycle Assessment for SunDiesel (Choren Process) and Conventional Diesel Fuel**; Executive Summary, by order of: Volkswagen AG and DaimlerChrysler AG; 2004.
- [17] UNNASCH, S.; “**Alcohol Fuels from Biomass: Well-to-Wheel Energy Balance**”; 2005; Disponível em: www.eri.ucr.edu
- [18] ECOTRAFFIC R&D AB; “**Feasibility Phase Project for Biomass-derived Alcohols for Automotive and Industrial Uses Altener**”; Bal-Fuels Project Final Report; Nykomb Synergetic AB.