

**INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA**
SUL DE MINAS GERAIS
Campus Inconfidentes

TOMAZ REIS FREGONESI

**CONTABILIDADE EM ENERGIA DO PROCESSO DE
TRANSFORMAÇÃO DE BEBIDA ALCOÓLICA EM ETANOL EM UMA
COLUNA DE RETIFICAÇÃO NO IFSULDEMINAS – CÂMPUS
INCONFIDENTES**

INCONFIDENTES – MG
2013

TOMAZ REIS FREGONESI

**CONTABILIDADE EM ENERGIA DO PROCESSO DE
TRANSFORMAÇÃO DE BEBIDA ALCOÓLICA EM ETANOL EM UMA
COLUNA DE RETIFICAÇÃO NO IFSULDEMINAS – CÂMPUS
INCONFIDENTES**

Este Trabalho de Conclusão de Curso é apresentado como pré-requisito para aprovação no curso superior de Tecnologia em Gestão Ambiental no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais – Câmpus Inconfidentes.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Cezar da Silva

**INCONFIDENTES - MG
2013**

TOMAZ REIS FREGONESI

**CONTABILIDADE EM EMERGIA DO PROCESSO DE
TRANSFORMAÇÃO DE BEBIDA ALCOÓLICA EM ETANOL EM UMA
COLUNA DE RETIFICAÇÃO NO IFSULDEMINAS – CÂMPUS
INCONFIDENTES**

Data de aprovação: 14 / 11 / 2013

Orientador: Dr. Carlos Cezar da Silva
(IFSULDEMINAS – Câmpus Inconfidentes)

Max Wilson de Oliveira
Msc. Max Wilson de Oliveira
(IFSULDEMINAS – Câmpus Inconfidentes)

José Hugo de Oliveira
José Hugo de Oliveira
(IFSULDEMINAS – Câmpus Inconfidentes)

Dedicatória

Dedico esse trabalho para as pessoas mais importantes da minha vida, aos meus pais, Ana Claudia Reis Fregonesi e João Carlos Fregonesi .

Agradecimentos

Agradeço aos meus pais, pelo apoio incondicional durante toda a minha vida .

Agradeço aos meus amigos, que sempre me ajudaram e estiveram juntos nos momentos bons e ruins durante esse período na faculdade.

Agradeço aos professores Carlos Cezar da Silva, Max Wilson de Oliveira e José Hugo de Oliveira , que possibilitaram a realização deste trabalho .

Agradeço a todos os integrantes que fazem ou já fizeram parte da República Bradock – Inconfidentes MG, que possibilitaram os melhores anos da minha vida.

LISTA DE SIGLAS

%R – Percentual de renovabilidade.

C₂H₅OH – Molécula do etanol, Carbono(C), Hidrogênio (H) e Oxigênio (O).

EIR – Investimento em energia.

ELR – Índice de carga ambiental.

ESI – Índice de sustentabilidade.

EUA – Estados Unidos da América.

EYR – Rendimento em energia.

F – Recursos pagos, provenientes da economia.

GEE – Gases do efeito estufa.

km/L – Quilômetros por litro.

L – Litros.

N – Recursos não renováveis.

NSI – Índice de não sustentabilidade.

OMS – Organização Mundial de Saúde.

R – Recursos renováveis.

RFB – Receita da Fazenda Brasileira.

UNICA – União da Indústria de Cana-de-Açúcar.

Y – Energia total.

SUMÁRIO

RESUMO	i
ABSTRACT	ii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. ETANOL.....	3
2.1.1. Etanol no Brasil.....	3
2.1.2. Etanol x sustentabilidade	4
2.2. BEBIDAS ALCOÓLICAS	5
2.3. VALORAÇÃO AMBIENTAL	6
3. METODOLOGIA.....	9
3.1. DESCRIÇÃO DO SISTEMA	9
3.2. INDICADORES.....	10
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	14
5. CONCLUSÃO	18
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19

RESUMO

A sociedade progride e novas tecnologias são desenvolvidas, dando espaço a novos bens e serviços. Todavia, para geração destes, é necessário o consumo de energia, a qual pode ter uma infinidade de origens, possuindo caráter sustentável ou não. Entre as fontes que tem tido sua demanda aumentada ao longo do tempo encontra-se o etanol, combustível este que ganhou espaço durante a Segunda Guerra Mundial, uma vez que o combustível comum na época era a gasolina, que era fornecida pelos países que encontravam-se em meio a guerra (FURTADO e SCANDIFFIO, 2007). Contudo, a produção do etanol combustível conta em sua maior parte com matéria-prima oriunda da cana-de-açúcar, o que resulta em vários impactos negativos ao meio em geral (EMBRAPA, 2008). Sendo assim, a busca de novas tecnologias capazes de produzir o etanol continua, no sentido de se atingir o equilíbrio entre a produção e o meio ambiente, ou seja, torná-lo sustentavelmente produzido. Partindo dessa perspectiva, o presente trabalho teve por objetivo verificar a viabilidade do uso da coluna de retificação de bebidas alcoólicas em etanol combustível no IFSULDEMINAS – Câmpus Inconfidentes. A análise da viabilidade da produção do etanol combustível foi realizada a partir da metodologia de Odum (1996); foram calculados os indicadores FYR, ELR, ESI, NSI e %R, obtendo-se os valores de 1,00E+00, 3,03E+02, 2,21E+03, 4,55E-04, 8,93E+15 e 4,53E-02 respectivamente. A partir dos estudos, concluiu-se, pelos indicadores, que o etanol combustível produzido a partir de bebidas alcoólicas na coluna de retificação não se apresenta como vantajoso, quando comparado com os trabalhos desenvolvidos por Ortega et al., (2008) e Lanzotti et al., (2000).

Palavra – chave: energia, etanol, energia, combustível.

ABSTRACT

Society experiences progress and that is when new technologies are developed, enabling for the offer of new goods and services. However, power consumption is demanded for generating them, which, in its turn derives from a multitude of sources, sustainable or otherwise. Among the sources experiencing a demand increase over time is ethanol. Such fuel type gained ground during the Second World War, since the average fuel at the time was gasoline, which was provided by the countries that were involved in the war (FURTADO e SCANDIFFIO, 2007). However, the production of ethanol fuel relies mostly on raw materials derived from sugar cane, which negatively impacts the environment in general (EMBRAPA, 2008). Thus, the search for new technologies capable of producing ethanol is carried on so that a balance between production and the environment is achieved, that is, making it sustainably produced. From this perspective, the present study aimed to verify the feasibility of the rectification column in turning of alcoholic beverages into ethanol fuel at IFSULDEMINAS - Campus Inconfidentes. Viability analysis of the production of fuel ethanol from alcoholic beverages was performed using the methodology of Odum (1996); EYR, ELR, ESI, NSI and %R indicators were calculated and the values of 1,00E+00, 3,03E+02, 2,21E+03, 4,55E-04, 8,93E+15e 4,53E-02 and 4.53 respectively were obtained. From the studies, it was concluded from the indicators that the ethanol fuel produced alcohol from the rectification column is not advantageous, as compared with the work carried out by Ortega et al. (2008) et Lanzotti al. (2000).

Key – word: emergy, ethanol, energy, fuel.

1. INTRODUÇÃO

O etanol combustível começou a ser utilizado no Brasil nos primórdios da indústria automotiva, porém, com o aumento da utilização de combustíveis fósseis, no começo do século XX, o etanol tornou-se uma opção secundária. No entanto, durante a Segunda Guerra Mundial o etanol elevou-se em importância devido à escassez de gasolina, visto que esta era um produto importado de países que encontravam-se em guerra (FURTADO e SCANDIFFIO, 2007).

O etanol, assim como tantas outras fontes de energia, é, ultimamente motivo de pesquisas, visto que a disponibilidade de energia para o consumo diário da sociedade humana, em qualquer parte do mundo é um fator fundamental para a qualidade de vida de seus cidadãos (ÚNICA, 2007).

Outro fator que acarreta em estudos na área de fornecimento de energia em todo o mundo é busca pela sustentabilidade, indo frente ao desenvolvimento de metodologias alternativas para obtenção de energia (SALDIVA et al, 2010). Todavia, o processo de busca de novas alternativas deve caminhar junto a pesquisas capazes de quantificar o quanto do meio tem sido suprimido para sua concretização.

Sendo assim, faz-se necessária a busca de novas alternativas de produção de tal fonte de energia, contudo deve-se levar em consideração que atualmente a preocupação com os impactos ambientais tem crescido exponencialmente. Dito isto, uma das formas de determinar o impacto ambiental gerado por um processo ou produto é a valoração ambiental utilizando a energia, como métrica.

Desta forma, a ideia de que a demanda por etanol tem aumentado e que a sua produção a partir de sua principal matéria-prima, a cana-de-açúcar, tem sido vista como insustentável, torna necessário o estudo de novas tecnologias para sua produção. É de extrema relevância que tais inovações neste meio apresentem-se sustentáveis. Para isso deve-se utilizar a valoração ambiental. (por meio da emergia, a métrica que apresenta indicadores de sustentabilidade (ODUM, 1996)).

A partir disso o presente estudo teve como objetivo verificar a viabilidade da coluna de retificação de bebidas alcoólicas em etanol combustível, de maneira que dados da produção foram levantados, análises, cálculos realizados e impactos ambientais foram determinadas, a partir da contabilidade ambiental em emergia.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. ETANOL

Etanol e álcool etílico são sinônimos. Ambos se referem a um tipo de álcool constituído por dois átomos de carbono, cinco átomos de hidrogênio e um grupo hidroxila. Ao contrário da gasolina, o etanol é uma substância pura, composta por um único tipo de molécula: C_2H_5OH (UNICA, 2007).

O etanol é um biocombustível desenvolvido para atender a crescente demanda da sociedade em relação ao setor automotivo. Por se tratar de um combustível renovável, possui diversas vantagens em relação à gasolina (CARVALHO, 2011).

2.1.1. Etanol no Brasil

A larga utilização do álcool combustível foi fruto da necessidade, do esforço dos produtores durante a crise no mercado internacional de açúcar e escassez de gasolina, bem como de outros derivados do petróleo. Dessa forma foi possível abastecer o setor de transportes e também os serviços públicos como hospitais e escolas (SAMPAIO, 2012).

Ainda, a ampliação da utilização do etanol no país se deu devido a crise do petróleo nos anos de 1973 e 1979, que foram marcados como dois choques na economia do petróleo. Na época, o Brasil sofreu o impacto da elevação dos preços, principalmente porque havia uma forte dependência materializada na importação de 80% do óleo bruto consumido

no país. Na tentativa de reverter a situação, o país adotou duas grandes estratégias: o investimento para aumento da produção doméstica de petróleo e implementação do Proálcool, o maior e mais bem sucedido programa de substituição de combustíveis derivados do petróleo do mundo (PEREIRA, 2008).

Nos dias de hoje o Brasil é mundialmente reconhecido como líder na produção e eficiência do setor sucroalcooleiro, mas esta liderança não se reflete na mesma medida na responsabilidade social, ambiental e na governança no setor (ECOIA, 2006).

Do total do etanol produzido em todo o país, segundo a UNICA (2007), cerca de 80% tem como destino o uso carburante, 5% é destinado ao uso alimentar, perfumaria e alcoolquímica e 15% para exportação.

Segundo Milanez et al., (2012) o mercado brasileiro de etanol vem apresentando um crescente descompasso entre a oferta efetiva e a demanda potencial por esse produto. Tal situação é explicada pelo fato de que a venda de automóveis *flex*, tem crescido efetivamente e em parceria, tem aumentado a demanda pelo combustível.

2.1.2. Etanol x sustentabilidade

O crescimento do consumo do etanol é constante, isso se dá pela necessidade da mudança da matriz energética mundial nos dias atuais, a qual está sendo direcionada para busca de alternativas sustentáveis. De acordo com Carvalho (2011) a tendência de alteração discreta da matriz energética se dá por diversos fatores, como por exemplo a redução da emissão de gases de efeito estufa (GEE), que contribuem para o aquecimento global.

Realizada a busca por novas alternativas de produção desta fonte de energia tem sido buscada, uma vez que, a produção do álcool a partir da cana-de-açúcar é considerada insustentável, devido ao fato de que, segundo a EMBRAPA (2008), a produção de etanol no Brasil foi de 6.510 litros por hectare. Considerando-se 7 km/L como consumo médio dos carros a álcool e uma milhagem média de 700 km/mês (8.400 km/ano), cada veículo consumiria, anualmente, 1.200 litros de etanol. Portanto, com a produtividade atual, cada carro precisaria de uma área plantada de cana-de-açúcar de 1.843 m² (EMBRAPA, 2008).

Ao se tratar da economia envolvida na produção do etanol através da cana-de-açúcar, esta apresenta-se de relevância no país, uma vez que a produção de etanol em sua maior parte utiliza de tal matéria-prima e seu consumo, por si só, proporciona uma melhora na

balança comercial do país, reduz a dependência de combustíveis além de melhorar a qualidade do ar, devido a redução da emissão de gases (KOHLHEPP, 2010).

Saldiva et al., (2010) ressalva que buscar fontes alternativas de energia , como no caso do etanol , é de extrema necessidade, visto que a disponibilidade de energia e novos compostos fez com que comportamentos e atitudes de consumo fossem incorporados pela sociedade dos homens, gerando hábitos que demandam uma produção de energia cada vez maior.

Ainda, de acordo com estudos nos EUA se prevê que o consumo mundial de energia aumentará 71% entre 2003 e 2030, e a maior parte desse aumento terá como fonte uma maior demanda de petróleo, carvão e gás natural. Para o final desse período (2030), toda a energia renovável (incluído-se os agrocombustíveis) está estimada em 9% do consumo mundial de energia (CARVALHO, 2007).

Silva (2010) ressalta que deve ocorrer à busca de formas alternativas de produção de etanol, uma vez que o método tradicional via cultivo da cana-de-açúcar acarreta em impactos diretos e efetivos, afetando a biodiversidade, os solos, a disponibilidade dos recursos hídricos e a qualidade do ar entre outros.

Carvalho (2007), por sua vez, ressalta a necessidade de inovação na produção do etanol, devido ao fato de a produção do combustível via cultura de cana-de-açúcar ser geralmente executada na forma de monocultura, provocando uma infinidade de impactos ao meio natural e social, como exploração de mão-de-obra, problemas locais de segurança alimentar e concentração de posses de terra.

Ainda, deve-se considerar que a produção de etanol da forma tradicional, além dos problemas causados pela extensão territorial para produção de cana-de-açúcar , acarreta em mais impactos ao meio, em virtude da produção de resíduos oriundos das usinas, afinal, estes muitas vezes são destinados a rios e córregos sem tratamento adequado (KOHLHEP, 2010).

2.2.BEBIDAS ALCOÓLICAS

A indústria brasileira de bebidas reveste-se de considerável importância para a economia nacional, uma vez que tal tem como característica a produção de bens relativamente homogêneos e destinados, basicamente, ao consumo interno (ROSA et al., 2006).

A distribuição de bebidas alcoólicas assim como muitos outros ramos no país, muitas vezes se dá de maneira não permitida pela legislação em vigor, de forma que estas são

apreendidas pela Polícia Federal do país. Porém, após a apreensão, estas não sofrem a destinação final adequada, sendo assim encaminhadas para lixões, aterros sanitários e outros impactando negativamente o meio (FREIRE, 2009).

O volume de bebidas alcoólicas gerado no país é relevante, visto que cerca de 2 milhões de pessoas são consumidores de bebidas alcoólicas em todo o Brasil (OMS, 2004). Porém, o volume de bebidas apreendidas pela Receita da Fazenda Brasileira (RFB) acompanha o consumo, como pode ser observado no Quadro 1 abaixo.

Quadro 1 – Volume de bebidas apreendidas pela Receita Federal do Brasil nos anos de 2012 e 2013.

DESCRIÇÃO	JAN-JUN 2012	JAN-JUN 2013	VARIAÇÃO 2012/2013
Bebidas Alcoólicas	333.382,40 litros	351.523,78 litros	5,44 %

Fonte: Adaptada de RFB (2013).

Como anteriormente dito, a apreensão das bebidas que encontram-se em inconformidade a lei reduzem os impactos negativos a saúde da sociedade de forma direta. No entanto, quando a destinação final destas não é realizada de forma adequada, a saúde pode ser afetada indiretamente através de contaminações no solo e na água (FREIRE, 2009). Segundo a RFB (2013), para que estes problemas ambientais sejam minimizados, convênios com universidades tem sido realizados de forma que os produtos apreendidos passem por uma reciclagem, fazendo com que os produtos retornem ao mercado em conformidade com as legislações e meio ambiente.

2.3. VALORAÇÃO AMBIENTAL

A valoração ambiental, ou economia da natureza, é definida por Motta (1997) como a estimação do valor monetário em relação a outros bens e serviços disponíveis para a economia.

A visão da economia ecológica apresenta uma abordagem preventiva contra as catástrofes ambientais eminentes, tratando da conservação dos recursos naturais por meio de uma visão que leva em conta as necessidades das gerações futuras (AGOSTINHO, 2005).

Reis (2001) relata que, além da importância maior de valorar para se quantificar o valor do serviço proporcionado pela natureza perdido pela degradação, e se internalizar os custos de degradação da base de recursos no processo econômico, tanto no nível macro

quanto no nível microeconômico, existe a questão da gestão dos recursos, ou seja, a questão econômica envolvida. Tal situação apresenta a representatividade da valoração ambiental.

Os estudos de valoração ambiental encontram-se crescentes, porém pouco repercute em todas as áreas de estudo. Isso se dá devido ao valor econômico dos recursos ambientais, os quais maioria das vezes, não é facilmente observado pelo mercado, através de preços que reflitam seu custo de oportunidade (FURIO, 2006).

Motta (2011) salienta que estudos na área de economia verde ou valoração ambiental devem ser realizados, uma vez que, para financiar os investimentos em capital natural, temos que conhecer sua contribuição econômica e social, e ainda saber especificá-los de acordo com sua contribuição para o bem-estar da sociedade.

A quantificação de toda a energia utilizada pelo sistema é grande relevância, pois pode ser uma ferramenta muito útil para comparar diferentes alternativas de produção, afinal leva-se em consideração todas as variáveis ambientais, sociais e econômicas (OMETTO, 2005).

Uma das formas de se realizar a valoração ambiental é com a utilização da metodologia desenvolvida por Odum (1996), a análise em emergia. Esta metodologia é muito utilizada quando se trata de estudos desenvolvidos na área de valoração ambiental.

Como exemplo, pode-se citar os trabalhos nos mais variados campos de estudos, como Corsini (2011), que utilizou de tal metodologia para a contabilidade ambiental do processamento de rocha para calcário de uso agrícola e, a partir, disso concluiu que a rocha calcária, recurso não renovável, é o maior fluxo de energia do sistema, destacando-se significativamente dos outros fluxos energéticos. Tal característica faz com que a atividade seja sustentável em curto prazo.

Silva (2009) avaliou, utilizando-se da mesma metodologia, a atribuição de custos em emergia dos sistemas agropecuários e, a partir disso, conclui quanto aos usos dos recursos envolvidos no trabalho, que o biosistema com melhor desempenho é a usina autônoma com criação de gados e suínos.

Silva (2011) realizou um estudo de indicadores ambientais no aterro sanitário São João e concluiu que o uso de energia proveniente do aterro sanitário estudado para fins de energia elétrica apresenta maior viabilidade.

Este método foi ainda utilizado em outras áreas, como por Dalló (2012) que realizou uma contabilidade ambiental da produção convencional de morango e verificou que o

sistema de produção estudado, é mais eficiente e apresenta melhor performance quanto aos indicadores em emergia, quando comparado com o sistema de produção de suco de laranja.

Estudos na área de produção de combustíveis, como no caso do etanol também já utilizaram-se da metodologia proposta por Odum (1996). Ortega et al., (2008) que realizou um estudo de indicadores ambientais na produção do etanol a partir da cana-de-açúcar em micro e mini destilarias na Fazenda Jardim de Marcello Mello, no município de Matheus Leme, Minas Gerais. E concluiu que o sistema mostra valores satisfatórios nos índices em emergia. Especialmente o índice de renovabilidade, que indica que o sistema é 67% sustentável. O valor da emergia capturada da natureza e disponibilizada para a cadeia produtiva é alto (EYR de 3,1E+00). A pressão exercida sobre o meio ambiente é baixa (EIR de 0,47E+00 e ELR de 0,5E+00).

Ainda neste sentido, pode-se considerar o estudo realizado por Lanzotti et al.,(2000), sobre a emergia utilizada na produção do etanol no Brasil oriundo da cana-de-açúcar produzida na região norte do estado de São Paulo, conclui-se que os valores encontrados apresentaram valores intermediários de sustentabilidade.

3. METODOLOGIA

3.1.DESCRICÃO DO SISTEMA

A produção de etanol avaliada neste trabalho foi realizada no município de Inconfidentes, no sul de Minas Gerais, especificamente na coluna de retificação localizada. O IFSULDEMINAS – Câmpus Inconfidentes. O etanol em questão foi produzido a partir de bebidas alcoólicas fornecidas pela Polícia Federal oriunda de apreensões.

A coluna de retificação utilizada é composta por três tanques, sendo que em um deles ocorre o despejo da bebida alcoólica que, em seguida passa pelo aquecedor, passando a bebida para o vaporizador, já em estado de ebulição (78°C). O álcool é evaporado e condensado pelo condensador. Após esse processo, o etanol vai para o segundo tanque de armazenamento, de onde é retirado o etanol final, com o teor de 92 GL para uso, e o restante que sobre do processo vai para o terceiro tanque, de armazenamento de biofertilizantes.

Para a realização da retificação do etanol, a bebida alcoólica é aquecida e produz vapor assim que a temperatura de ebulição do etanol é atingida (78°C). O etanol vaporizado sobe pela coluna e é condensado em estruturas chamadas pratos. Este é um sistema de via dupla no qual ocorre o retorno do líquido de cada prato, a partir do momento que este esteja cheio. Assim, temos um sistema em refluxo que atingirá o equilíbrio, quando a concentração em cada prato for constante, tendo uma mistura cada vez mais rica em componente mais volátil. Quando o líquido da última bandeja é vaporizado e recondensado, o produto final é obtido.

Para que se atingisse este objetivo foi produzido o etanol na coluna de retificação sendo as produções foram acompanhadas e amostras do etanol e descarte, foram coletadas para análise de teor alcoólico a cada rodada do processo de produção, de um total de cinco rodadas. As análises de teor alcoólico foram realizadas no laboratório de Química e Fertilidade do Solo do IFSULDEMINAS – Câmpus Inconfidentes, para onde foram encaminhadas as amostras.

As análises de teor alcoólico foram pesadas e encaminhadas para uma estufa de circulação de ar forçado, onde ficaram acondicionadas durante aproximadamente 2 horas e, assim, novamente pesadas para obtenção dos valores do teor alcoólico.

3.2. INDICADORES

A emergia, é definida por Odum (1996) como a energia solar empregada direta ou indiretamente para a obtenção de um produto ou serviço. Na medida que todos os insumos são utilizados, são convertidos pelo sistema em uma métrica comum, os joules de energia solar (sej).

Para este estudo foi utilizada a metodologia proposta por Odum (1996). Foram realizados cálculos de indicadores capazes de avaliar a sustentabilidade do projeto quando comparado a outros sistemas.

Foram considerados todos os insumos utilizados pelo sistema para obter o produto. Estes foram classificados como renováveis (R) e não-renováveis (N), e provenientes da economia (F).

Nesta pesquisa foram considerados mão-de-obra, aço para coluna e bombas, vapor, bebidas alcoólicas e eletricidade como F, água e oxigênio como R e como N. Para realização de tal classificação, foi realizado um levantamento de campo na fase de implantação e operação (produção do etanol) com o intuito de se diagnosticar os recursos provenientes da economia. Quanto aos recursos renováveis, foram realizados levantamentos em órgãos específicos e literaturas.

Para tratamento dos dados, foram utilizadas conversões e/ou transformações, que permitiram estimar individualmente todos os fluxos de energia que o sistema utiliza.

O valor da emergia total incorpora todos os fluxos de recursos e serviços utilizados para obtenção de um produto, processo ou serviço, sejam estes recursos provenientes do meio ambiente ou da economia. Esta metodologia utiliza uma álgebra

própria, com a qual é possível calcular indicadores, a partir das relações entre as fontes de recursos que compõe o sistema estudado.

Silva (2011) relata que a característica de transformar os insumos em joules de energia solar é uma ferramenta capaz de valorar fluxos, mensurar transformações e estoques existentes em todos os cenários de seu estudo, sendo que o produto final representará todas as energias disponíveis utilizadas para a produção.

Estudos desenvolvidos por Odum (1996) e Brown e Mcclanahan (1996) permitiram o desenvolvimento de indicadores capazes de mensurar os impactos sofridos pelo meio ambiente de acordo com a atividade humana desenvolvida. Tais indicadores são apresentados a seguir. Porém é necessário conhecer a classificação e categorização de cada recurso, apresentado no Quadro 2 abaixo.

Quadro 2 – Classificação e categorização dos recursos.

RECURSO	CARACTERIZAÇÃO
Renováveis (R)	Os recursos renováveis são definidos como os que podem ser regenerados e que não serão, necessariamente, esgotados pela exploração humana, considerados de escala regional ou local, podendo variar dependendo do recurso e do processo de extração.
Não Renováveis (N)	Os recursos não-renováveis são definidos como os que não são regenerados, ou que são regenerados a uma taxa praticamente insignificante frente à sua quantidade disponível. Os recursos não-renováveis apresentam efeitos de escala global de abrangência espacial.
Recursos pagos (F)	Recursos provenientes da economia.

Fonte: Ometto (2005) adaptado.

Os indicadores utilizados para analisar a viabilidade da produção do etanol combustível foram: rendimento em energia (EYR), investimento em energia (EIR), índice de carga ambiental (ELR), percentual de energia renovável (%R), índice de sustentabilidade (ESI) e índice de não sustentabilidade (NSI). Estes são descritos abaixo.

EYR - Rendimento em Energia

É a relação entre a energia total contida no produto (Y) em relação aos recursos provenientes da economia (F), ou seja, é a energia do sistema dividido pela entrada dos fluxos de energia provenientes da economia. Demonstra a capacidade do processo para

explorar os recursos locais provenientes da natureza. Quanto menor a proporção dos recursos, mais sustentável é o sistema.

$$Y/F \text{ ou } (R + N + F)/F$$

EIR – Investimento em energia

É uma relação entre recursos provenientes da economia e recursos gratuitos. Um índice baixo indica que o ambiente provê mais recursos para o processo que a economia (materiais e serviços).

$$F/(R+N)$$

Em relação ao investimento em energia (EIR), que é obtido pela razão dos recursos pagos (F) em relação aos recursos renováveis (R) e não-renováveis (N) presentes no sistema, quanto menor o índice, maior sustentabilidade o sistema apresenta. A mesma interpretação vale para o ELR, estresse ambiental e NSI, índice de não sustentabilidade, ou seja, quanto menores os índices, menor o estresse causado e menor a não sustentabilidade do sistema.

ELR – Índice de carga ambiental

É definido como a relação entre energia de entrada dos recursos locais não renováveis e de recursos provenientes da economia pela energia do recurso local renovável. Avalia o estresse imposto ao ambiente: quanto menor o valor, menor o estresse causado.

$$(N+F)/R$$

ESI – Índice de sustentabilidade

O índice de Sustentabilidade, mede a taxa de sustentabilidade. Valores maiores indicam sustentabilidade por períodos de tempo maior. Um sistema, para ser considerado sustentável por longo prazo, deve ter baixa carga ambiental e alto rendimento em energia.

EYL/ELR

A sustentabilidade do processo ainda é avaliada pelo (ESI) e o percentual de renovabilidade pelo %R. Para a avaliação de tais índices, leva-se em consideração que, quanto mais alto seu valor, maior a sustentabilidade do processo.

NSI – Índice de não sustentabilidade

O índice de não sustentabilidade (NSI), introduzido por Tiezzi e Marchettini (1999) apresenta o produto da transformidade ou energia por massa e ELR e indica o estresse ambiental de cada unidade de produto ou serviço. Este mede a não sustentabilidade. Valores menores são desejáveis para o sistema. Valores de transformidade e de carga ambiental maiores indicam baixa eficiência e alto estresse ambiental, ou seja, quanto mais baixos os valores, maior a insustentabilidade do sistema.

$$NSI = UEV \times ELR, \text{ onde } UEV = Y/L$$

R% - Percentual de recursos renováveis

Indica a porcentagem de fluxo de energia, proveniente de fontes renováveis. Os sistemas com alto valor desse índice são mais sustentáveis.

$$R/Y \times 100\%$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A discussão deste estudo se inicia com a análise do diagrama de energia (Figura 1). O uso do diagrama para verificação de viabilidade ambiental através de análise em energia é considerável, devido ao fato de que o diagrama possibilita uma visão macro do sistema, facilitando a identificação dos fluxos de materiais, dos componentes e das interações existentes entre eles.

Na Figura 1, pode-se observar que o recurso renovável (R) utilizado na produção do etanol combustível na coluna de retificação encontra-se do lado esquerdo do diagrama. Já os recursos pagos (F) encontram-se no diagrama, sendo estes a mão-de-obra e os materiais de serviço em geral.

Assim, pode-se compreender ainda que dentre os recursos naturais envolvidos no sistema, a água da chuva é inserida, de forma que parte do recurso repõe de forma lenta os aquíferos, parte é destinada à coluna de retificação para produção do etanol e parte é degradada durante o processo. No entanto, a água que entra na coluna de retificação retorna aos aquíferos. Os recursos pagos (F) podem ser observados no diagrama, de forma que estes entram na coluna e parte dos mesmos são degradados.

Ao lado direito do diagrama pode-se observar os produtos obtidos com o processo de fabricação do etanol combustível a partir das bebidas alcoólicas, biofertilizantes e o etanol combustível.

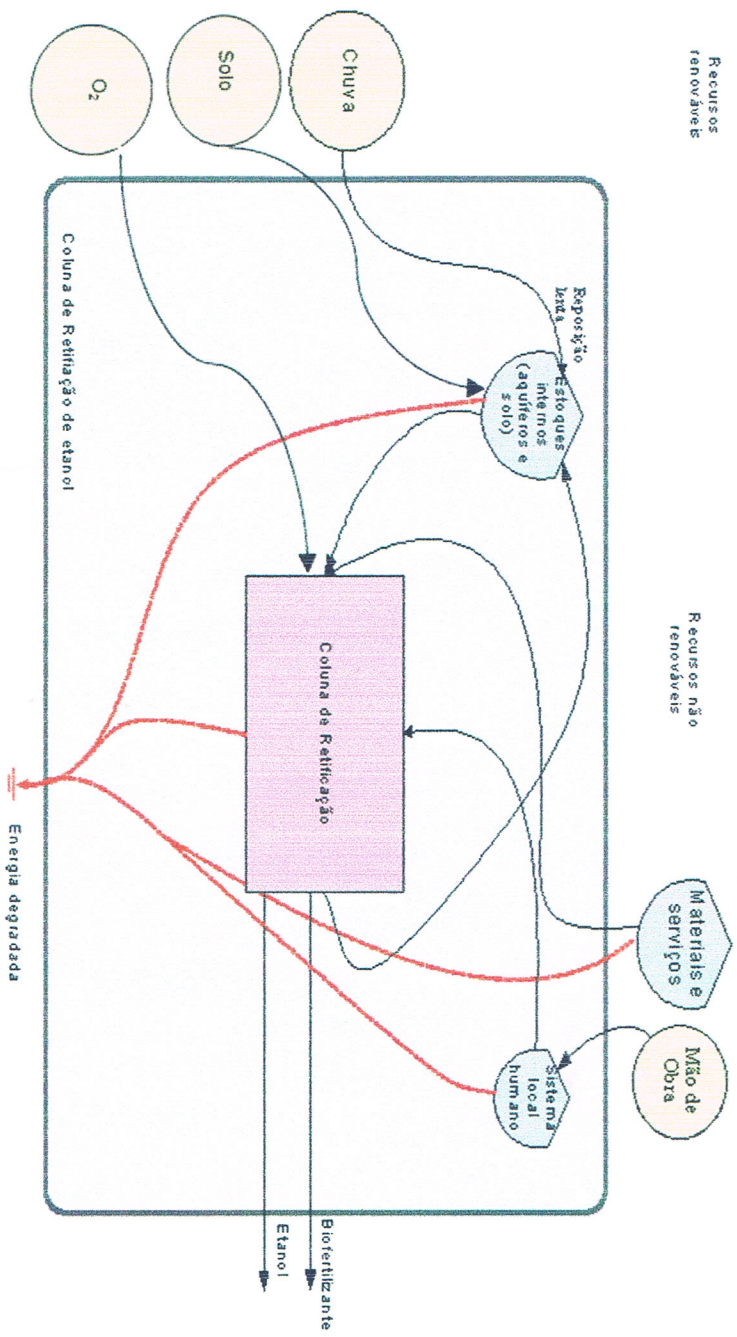


Figura 1 – Diagrama de energia da produção do etanol combustível através da coluna de retificação.

Na Tabela 1, pode-se observar a quantidade de energia dos fluxos que compõem o processo de produção do etanol e energia total do sistema. A energia total do sistema para produção de etanol é de $1,76E+16$ sej/ano. Deste total, aproximadamente 99% provém de recursos pagos, ou seja, das bebidas alcoólicas e outros materiais junto com a mão-de-obra, enquanto os demais 1% que compõe o sistema são provenientes de recursos renováveis e não renováveis.

Tabela 1 - Quantidade dos fluxos que compõem a produção do etanol combustível e a energia total do sistema.

Nota	Descrição	Classe	Unid.	Quantidade	UEV	Energia	%
Implantação							
1	Solo	N	J/yr	2.12E+09	2.21E+04	4.68E+13	<1%
2	Mão-de-obra	F	J/yr	6.28E+06	4.30E+06	2.70E+13	<1%
3	Aço**	F	g/yr	1.61E+05	6.94E+09	1.11E+15	6.33%
Operação							
4	Água	R	g/yr	2.00E+07	1.57E+05	3.14E+12	<1%
5	O ₂	R	g/yr	8.40E+04	5.16E+07	4.33E+12	<1%
6	Vapor**	F	J/yr	3.21E+10	8.43E+04	2.71E+15	15.37%
7	Bebida Alcoólica	F	L/yr	2.40E+04	2.04E+09	4.90E+13	<1%
8	Elettricidade**	F	J/yr	2.59E+10	2.77E+05	7.19E+15	40.78%
9	Mão-de-obra	F	J/yr	1.51E+09	4.30E+06	6.48E+15	36.78%
	Total					1.76E+16	100.00%
	Produção do etanol	F	L/yr	4.08E+03	4,32E+12	1.76E+16	100.00%
	Biofertilizante	F	L/yr	3.19E+04	5,52E+11	1.76E+16	100.00%

(**) Corrigidos para a baseline de 2000.

Quando correlaciona-se a produção do etanol combustível via coluna de retificação com o método mais comum, através de usinas de destilarias de matéria-prima cana-de-açúcar, pode-se comparar os recursos que contemplam o sistema.

Ortega et al., (2008) em estudos de energia da produção de etanol em micro e mini-destilarias da Fazenda Jardim de Marcello Mello concluiu que a para obter-se o produto são necessários (UEV ou TR) $9,88E+15$ sej ha⁻¹ ano.

No sentido de avaliar se realmente o processo de produção, foram calculados os índices através de indicadores da produção combustível através da coluna de retificação, os quais podem ser observados na Tabela 2.

Observa-se na Tabela 2, os indicadores da produção do etanol retificado e de outros estudos desenvolvidos no mesmo sentido.

Tabela 2 – Indicadores da síntese em emergia da produção do etanol combustível na coluna de retificação e em outros sistemas de produção.

Indicadores	Etanol		
	Retificado	Lanzotti et al., (2000)	Ortega et al., (2008)
EYR	1,00E+00	1,22E+00	3,11E+00
EIR	3,03E+02	4,59E+00	4,7E-01
ELR	2,21E+03	4,99E+00	4,9 E-01
ESI	4,55E-04	2,01E-01	6,34 E+00
NSI	8,93E+15	1,13E+07	8,23 E+11
%R	4,53E-02	5,10E+01	6,6 E+01

A Tabela 2 permite observar, quando analisado o índice de rendimento em emergia (EYR), que o etanol retificado apresentou o menor EYR com o valor de 1,00E+00sej/ano. Em seguida Lanzotti et al., (2000) apresentou um índice intermediário entre os sistemas com EYR de 1,22E+00sej/ano e, por fim, Ortega et al., (2008) apresentou o maior índice entre os sistemas, com EYR de 3,11E+00sej/ano. Sendo assim o EYR apresentado por Ortega et al., (2008) em relação ao etanol retificado, é três vezes maior. Isso pode ser justificado pela diferença do método de produção entre cada um dos sistemas, uma vez que cada um destes possui suas particularidades.

Em relação ao investimento em emergia (EIR), pode-se observar, que o etanol retificado apresentou o maior índice entre os sistemas, com EIR de 3,03E+02sej/ano, seguido de Lanzotti et al.,(2000), que utilizou 4,59E+00sej/ano e Ortega et al., (2008) utilizou 4,7E-01sej/ano. Sendo assim, o investimento econômico do etanol retificado apresentou-se sessenta e seis vezes maior do que de Lanzotti et al., (2000) e seiscentas e sessenta e quatro vezes maior que o investimento de Ortega et al., (2008).

A taxa de carga ambiental (ELR), ou estresse ambiental encontrada no estudo do etanol retificado apresentou valores mais elevados quando comparados com o etanol de

Lanzotti et al.,(2000) e Ortega et al., (2008), sendo que o etanol retificado exibe um ELR de $2,21E+03$ sej/ano, enquanto os demais estudos apresentaram $4,99E+00$ sej/ano e $4,9E-01$ sej/ano respectivamente. Desta forma, a produção do etanol na coluna de retificação causa aproximadamente quatrocentos e quarenta e duas vezes maior estresse ao meio em relação a produção de Lanzotti et al., (2000) .

Ao analisar o indicador de sustentabilidade (ESI), nota-se que o etanol retificado apresentou o menor índice de sustentabilidade entre os sistemas, com ESI de $4,55E-04$ sej/ano, seguido de Lanzotti et al., (2000) com $2,01E-01$ sej/ano e Ortega et al., (2008), com $6,34E+00$ sej/ano, o qual, entre os sistemas apresentou o maior valor, no que se refere ao indicador de sustentabilidade.

Quanto ao índice de não sustentabilidade (NSI), o etanol retificado apresentou o maior valor, $8,93E+15$ sej/ano, sendo o menos sustentável, seguido de Ortega et al., (2008) com $8,23E+11$, o qual apresentou valor intermediário entre os sistemas e, por fim, Lanzotti et al., (2000) com $1,13E+07$ sej/ano.

Ao analisar o indicador de percentual de renovabilidade (%R), não foram diferentes os resultados. Assim, o etanol retificado apresentou o pior índice em %R, uma vez que este $4,53E-02\%$, enquanto Lanzotti et al.,(2000) apresentou um índice de $5,10E+01\%$ e Ortega et al., (2008) apresentou $6,6E+01\%$.

Mesmo considerando-se o fato de que em indicadores analisados, os demais sistemas de produção do etanol apresentaram os melhores índices, deve-se considerar que a produção do etanol retificado a partir de bebidas alcoólicas pode ser uma forma de destinação final das bebidas alcoólicas apreendidas pela RFB, fazendo com que, os lixões e aterros tenham seu tempo de vida útil aumentado, além de reduzir as contaminações do solo e da água causados pelo contato de altos teores de álcool com o meio.

5. CONCLUSÃO

Concluiu-se, a partir dos índices obtidos nos indicadores, que o etanol combustível produzido a partir de bebidas alcoólicas na coluna de retificação não se apresenta como vantajoso diante dos estudos correlacionados, pois não apresentou melhores resultados entre os índices analisados.

Neste estudo não foi considerada a destinação final da bebida alcoólica apreendida, quando não se utiliza para produção de etanol. É necessário aumentar a janela de estudo de forma a contabilizar-se os impactos mitigados no processo e ainda realizar investigações em colunas de retificação de maiores dimensões para se verificar a viabilidade ambiental.

É importante ressaltar que a busca de novas tecnologias de geração de energia, neste caso o etanol combustível devem se intensificar, até que se encontre um substituto ideal para o petróleo.

Este trabalho não pretende exaurir o tema em questão, mas sim abrir as discussões para que pesquisas similares ocorram com o intuito de definir-se tecnologias ou fontes alternativas viáveis de energia e combustível.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOSTINHO, F. D. R. **Uso de análise emergética e sistema de informações geográficas no estudo de pequenas propriedades agrícolas.** 252 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

BROWN, M.T. e T. MCCLANAHAN: **Emergy Analysis Perspectives for Thailand and Mekong River Dam Proposals.** *Ecological Modeling* 91:pp105-130. 1998.

CARVALHO, P.N. **Valoração das externalidades negativas do ciclo de vida do etanol - o caso da queima da palha da cana-de-açúcar.** Dissertação (Mestrado em Planejamento Estratégico), UFRJ, 2011.

CORSINI, I. **Contabilidade ambiental do processamento de calcário de rocha para uso agrícola.** 36 p. TCC (Grduação) – Curso de Tecnologia em Gestão Ambiental, IFSULDEMINAS – Câmpus Inconfidentes. 2011.

DALLÓ, A. A. **Contabilidade ambiental da produção convencional de morango.** 42 p. TCC (Graduação) – Curso de Tecnologia em Gestão Ambiental, IFSULDEMINAS – Câmpus Inconfidentes. 2012.

ECO.A. Acesso online. Disponível em: <http://www.ecoa.org.br/arquivos/444052181.pdf>. Acessado em 15 set 2013.

EMBRAPA. **A Cana de açúcar.** Disponível em <<<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONT000fiog1ob502wyiv80z4s473agi63ul.html>>> acessado em 11/09/2013. 2008.

FREIRE, G. J. M. **Análise de municípios mineiros quanto a situação de seus lixões.** Dissertação (Pós –Graduação) Curso de Análise e modelagem de sistemas ambientais, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 117 p. 2009.

FURIO, P R. **Valoração ambiental: aplicação de métodos de valoração em empresas dos setores mineração, papel, celulose e siderurgia.** 109 p. TCC (Graduação) - Curso de Administração de Empresas, Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 2006.

FURTADO, A.T.; SCANDIFFIO, M.I.G.: A Promessa do Etanol no Brasil. *Visages d'Amérique Latine.* n. 5 . pág. 95-106. 2007.

KOHLHEPP. Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil. *SciELO*, São Paulo, n.24, p.24-68, 2010.

LANZOTTI, C.R., ORTEGA, E.; GERRA, S. M.: *Emergy Analisis and Trends for Ethanol Production in Brazil.* In: First Biennial Emergy Analysis Research Conference, Gainesville, Florida. 2000.

MILANEZ, A; NIKO, D.; GARCIA, J.G. e REIS, B.L.F.S. O déficit de etanol no Brasil entre 2012 e 2015: determinantes, consequências e sugestões de política. **BNDS Setorial**, São Paulo, p.277-302, 2012.

MOTTA, R S. Valoração para precificação dos recursos ambientais para uma economia verde. **Economia Verde: Desafios e Oportunidades**, Rio de Janeiro, p.179-190, jun 2011.

MOTTA, R S. **Manual para valoração econômica dos recursos ambientais.** Rio de Janeiro: IPEA/MMA/PNUD/CNPQ. 211 p. 1997 .

ODUM, H. T.: *Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making.* John Wiley& Sons, Inc. New York. 1996

OMETTO, A R. **Avaliação do ciclo de vida do álcool etílico hidratado combustível pelos métodos edip, exergia e emergia.** 209 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Hidráulica e Saneamento, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005.

OMS. **Organização Mundial de Saúde.** Acesso online. Disponível em: http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/relatorio_padroes_consumo_alcool.pdf. Acessado em 14 out 2013. 2004.

ORTEGA, E. e WATANABE, M. e CAVALLET, O. **A produção do etanol em micro e mini - destilarias.** 2008.

PEREIRA, E.M. O ouro negro - Petróleo e suas crises políticas, econômicas, sociais e ambientais na 2ª metade do século XX. **Dossiê religião e religiosidade**, Rio de Janeiro, v. 6, n. 5, p. 54-72, dez 2008.

REIS, M. M. **Custos ambientais associados à geração elétrica: hidrelétricas x termoeletricas a gás natural.** 195 f. Tese (Pós-graduação) - UFRJ, Rio de Janeiro, 2001.

RFB. : **Relatório Aduaneiro.** Vol. Único. Acesso online. Disponível em: http://www.receita.fazenda.gov.br/AutomaticoSRFSinot/2013/08/06/2013_08_06_16_51_46_52092784.html. Acessado em 10 de out 2013.

ROSA, S. E. S.; CONSENZA, J. P. e LEÃO, L. T. S. Panorama do setor de bebidas no Brasil. **BNDS Setorial**, Rio de Janeiro, n. 23, p. 101-150, 2006.

SALDIVA, D.H.N.; ANDRADE, M.F.; MIRAGLIA, S.G.K, e ANDRE, P.A. **Etanol e saúde humana: uma abordagem a partir das emissões atmosféricas.** 2010. Acesso online. Disponível em: http://www.sindalcool.com.br/estudos/ETANOL_SA%C3%9ADE_HUMANA_ABORDAGEM_A_PARTIR_DAS_EMISS%C3%95ES_ATMOSF%C3%89RICAS.pdf. Acessado em 10 set 2013.

SAMPAIO, M. A. P.: El caso de la producción de etanol en Brasil. Cuadernos de Geografía, Vol. 21, N.º. 1. 2012.

SILVA, C.C. **A atribuição de custos em sistemas energéticos agropecuários: uma análise em energia, termoeconomia e economia.** 156 p. Tese (Doutorado) – Curso de Energia, Universidade de São Paulo. 2009.

SILVA, G. F. **Aterro sanitário São João: Estudo dos indicadores ambientais em energia.** 168 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia de Produção, UNIP, São Paulo, 2011.

SILVA, L D O. **Sustentabilidade do etanol brasileiro: uma proposta de princípios e critérios.** 174 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Planejamento Energético, UFRJ, Rio de Janeiro, 2010.

TIEZZI, E.; MARCHETTINI, N. (1999) – Che cos'è, lo sviluppo sostenibile? – Le basi scientifiche della sostenibilità e i guasti del pensiero unico, Roma, Itália, Ed. Donzelli, c.3 p.109-137. 1999

ÚNICA – União Nacional de Cana-de-Açúcar. **Produção e uso do etanol combustível no Brasil.** ÚNICA, São Paulo. 70 p. 2007