

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Ana Cristina Ruoso

**ANÁLISE ECONÔMICA, ENERGÉTICA, AMBIENTAL E DE
SEGURANÇA DA UTILIZAÇÃO DO ETANOL HIDRATADO**

Santa Maria, RS
2017

Ana Cristina Ruoso

**ANÁLISE ECONÔMICA, ENERGÉTICA, AMBIENTAL E DE
SEGURANÇA DA UTILIZAÇÃO DO ETANOL HIDRATADO**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado ao Centro de Tecnologia da
Universidade Federal de Santa Maria, como
requisito parcial para obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Nattan Roberto Caetano

Santa Maria, RS
2017

ANÁLISE ECONÔMICA, ENERGÉTICA, AMBIENTAL E DE SEGURANÇA DA UTILIZAÇÃO DO ETANOL HIDRATADO

ECONOMIC, ENERGY, ENVIRONMENTAL AND SAFETY ANALYSIS OF THE USE OF HYDRATED ETHANOL

Ana Cristina Ruoso¹, Nattan Roberto Caetano²

RESUMO

O objetivo do trabalho é realizar uma análise energética, econômica, ambiental e de segurança do uso do biocombustível etanol com diversas proporções de hidratação. A análise considera todo o ciclo do etanol, desde o plantio até a produção de energia. O etanol é considerado como uma alternativa potencial aos combustíveis tradicionais, que representa uma fonte mais limpa e igualmente eficiente para a geração de energia. O trabalho é classificado como uma pesquisa aplicada, experimental, descritiva e quantitativa. Os resultados obtidos mostraram que a temperatura a partir da borda da piscina de fogo diminui 4% com o aumento de 10% da diluição do etanol. Além disso, a chama do etanol E80W20 emitiriam 20% menos radiação comparado ao E90W10, porém, é consumido o dobro de energia na destilação para produzir o etanol E90W10. Por outro lado, esta diferença de energia na produção do etanol E70W30 não é suficiente para compensar as perdas no aproveitamento da energia e, também, a proporção de água pode inviabilizar o custo total devido ao transporte. Portanto, o etanol E80W20 pode representar um combustível mais eficiente, limpo e seguro que o E90W10 para aplicações com chama livre.

Descritores: Etanol hidratado; Biocombustível; Custo total; Emissões; Energia; Segurança.

ABSTRACT

The objective of the work is to carry out an energy, economic, environmental and safety analysis of the use of ethanol biofuel with several levels of hydration. The analysis considers the entire ethanol cycle, from planting to energy production. Ethanol is considered as a potential alternative to traditional fuels, which represents a cleaner and equally efficient source for power generation. The work is classified as an applied, experimental, descriptive and quantitative research. The results showed that the temperature from the edge of the fire pool decreases by 4% with a 10% increase in ethanol dilution. In addition, the flame of ethanol E80W20 would emit 20% less radiation compared to E90W10, however, it is consumed double the energy in the distillation to produce ethanol E90W10. On the other hand, this energy difference in the production of ethanol E70W30 is not enough to compensate for the losses in the use of energy, and also the proportion of water can not make the total cost due to transport. Therefore, ethanol E80W20 can represent a more efficient, cleaner and safer fuel than the E90W10 for free flame applications.

Keywords: Hydrated ethanol; Biofuels; Total cost; Emissions; Energy; Safety.

¹ Graduanda em Engenharia de Produção, autora; Aluna de Graduação em Engenharia de Produção – UFSM/CT.

² Físico, orientador; Doutor em Engenharia de Mecânica pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro; Professor no curso de Pós Graduação em Engenharia de Produção – UFSM/CT.

1 INTRODUÇÃO

Com a limitação dos combustíveis fósseis, como o aumento da demanda por energia e exigências de controle da poluição há a necessidade da busca por novas fontes de energia renováveis e biocombustíveis que substituam as fontes de energias tradicionais. As preocupações com as mudanças climáticas, ambientais, tecnológicas, econômicas, políticas, demográficas e sociais afetam diretamente a matriz energética mundial (MORAES et al., 2014). Combinado à isso, a dependência mundial dos combustíveis fósseis, a volatilidade dos preços, e as incertezas sobre o abastecimento de petróleo contribuem para a mudança da oferta e demanda das fontes de energia. Dessa forma, existe um crescente interesse pelas fontes de energias renováveis, particularmente na forma de biocombustíveis (COELHO; LUCON; GUARDABASSI, 2005; GOLDEMBERG, 2007; MORAES et al, 2014).

Conforme Catalan e Berger (2010) os combustíveis alternativos para o transporte estão ganhando impulso no mercado global. O etanol tem sido o biocombustível mais utilizado como aditivo e como substituto da gasolina em vários países e é considerado uma alternativa potencial aos combustíveis tradicionais (BREAUX; ACHARYA, 2013; FURTADO; SCANDIFFIO; CORTEZ, 2011).

O etanol representa 16,8% do consumo de energia nos transportes, a participação do setor de transportes na matriz energética brasileira é 32,4%. Sendo este o segundo setor que mais consome energia no Brasil (EPE, 2017).

De acordo com Goldemberg et al. (2014), em 2013, vinte e sete países adotaram políticas de energia renováveis, passando a exigir maior participação dos biocombustíveis na matriz energética, o que aumentará a produção de etanol de milho e cana de açúcar, até 2021. No Brasil os derivados da cana-de-açúcar estão entre as mais importantes e representativas fontes renováveis na oferta interna de energia e nos transportes (EPE, 2016), visto que, o país desponta como um dos maiores produtores de cana-de-açúcar, favorecido pela grande extensão territorial e o clima tropical (MILANEZ; FAVERET FILHO; ROSA, 2008).

Segundo a CONAB (2016), a produção total do etanol combustível, no Brasil, foi de 30,5 bilhões de litros em 2015/16, dos quais 11,2 bilhões foram de etanol anidrido. O etanol hidratado teve uma participação de 19,3 bilhões de litros, com especificação do teor alcoólico entre 92,5 e 93,8 ° INPM para ser utilizado como combustível.

A colheita da cana-de-açúcar vem sendo realizada com equipamentos modernos, sem uso do fogo. Isto resulta em melhorias dos atributos físicos do solo e colabora para a redução das emissões de gases de efeito estufa e fuligem (LEAL et al., 2013). O etanol da cana-de açúcar

proporciona a mitigação das emissões de CO₂, sequestra o CO₂ através da fotossíntese e o bagaço da cana pode ser utilizado para cogeração de energia elétrica (MANOCHIO, 2014).

Os incêndios com etanol são emissores de calor e fumaça altamente localizados e intensos. Sendo que a radiação e a convecção são os principais mecanismos para transferir o calor do fogo para os arredores (FOSSA; DEVIA, 2008). Quando esses incêndios ocorrem em locais com tanques de armazenamento de etanol, representam umas das situações mais perigosas para estruturas e pessoas circundantes.

A pesquisa é justificada a respeito da utilização prática de etanol hidratado, representando uma importante redução nos custos relacionados à energia consumida no processo. Além disso, os limites de inflamabilidade mais baixos, que é um fator importante para a prevenção de incêndios e explosões inesperadas (CARTAGENA, 2013).

O etanol se destaca como uma das principais fontes de energia para a redução do consumo dos combustíveis fósseis e na mitigação das mudanças climáticas pela emissão dos gases de efeito estufa (COELHO; LUCON; GUARDABASSI, 2005; GOLDEMBERG, 2007). Além de atender as políticas e acordos internacionais, incentivar a produção de cana-de-açúcar e beneficiar economicamente os agricultores e indústrias no seu ciclo. Portanto, este estudo tem como objetivo realizar uma análise energética, econômica, ambiental e de segurança do uso do etanol hidratado, considerando todo o ciclo do etanol, desde o plantio até a produção de energia.

Determina-se como problema desta pesquisa as seguintes questões: a) existe uma relação positiva entre a energia consumida no processo de produção e o poder calorífico do combustível?; b) qual a concentração ideal de etanol hidratado para determinadas aplicações?; c) o emprego deste biocombustível é economicamente viável, ambientalmente correto e como garantir a segurança?

Contudo, para responder os problemas delimitados, os objetivos específicos deste trabalho são: a) medir parâmetros da combustão de etanol; b) realizar uma pesquisa sobre o balanço energético do etanol; c) realizar a avaliação ambiental das emissões de CO₂ para caracterizar a situação; d) realizar uma análise de segurança utilizando as piscinas de fogo, a fim de extrapolar as medições para um incêndio em escala maior; e, e) obter a proporção mais eficiente de etanol hidratado.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 BIOCOMBUSTÍVEIS

Os combustíveis são substâncias que quando aquecidas reagem com o oxigênio, e produzem calor, chama e gases (COELHO; COSTA 2007). A reação, definida como combustão, resulta na liberação de energia de sua forma potencial a uma forma utilizável (MALFATTI, 2009).

Segundo Escobar et al (2009) os biocombustíveis são renováveis e provêm de produtos agrícolas como cana-de-açúcar, oleaginosas, biomassa florestal e outras fontes de matéria orgânica. Eles podem ser usados isolados ou adicionados a combustíveis convencionais em misturas. Como exemplos de biocombustíveis cita-se o óleo vegetal, etanol, metanol, metano e carvão vegetal.

O etanol é um composto orgânico obtido através da fermentação de amiláceas ou açucaradas, e após destilado e desidratado até a sua necessária purificação (COELHO; COSTA, 2007). A destilação e desidratação dependem da concentração final de água que se deseja no biocombustível. Segundo Escobar et al (2007) o etanol pode ser produzido a partir de cana-de-açúcar, beterraba, sorgo, cereais, entre outras materiais primas.

Como biocombustível, o etanol possui propriedades comparáveis com combustíveis derivados do petróleo para motores de combustão interna (SALVI; SUBRAMANIAN; PANWAR, 2013). As Equações 1, 2 e 3 representam as reações químicas de produção de etanol, a partir da inversão de sacarose, fermentação da glicose proveniente da cana-de-açúcar, e a reação da combustão completa desse, respectivamente.



De acordo com Coelho e Costa (2007) os álcoois apresentam poder calorífico menor, teores de umidade maiores, e teores de enxofre, cinzas e azoto menores após suas queima, comparados aos combustíveis derivados do petróleo. Entretanto o etanol é um combustível que devido a sua renovabilidade, biodegradabilidade e emissões de gases de escape de qualidade aceitáveis, continua como uma escolha favorável para a substituição dos combustíveis fósseis (NIGAM; SINGH, 2011).

2.2 BALANÇO ENERGÉTICO

De acordo com JASPER et al (2010), o balanço energético visa estabelecer os fluxos de energia, identificando sua demanda total e eficiência, refletida pelo ganho líquido de energia. Este ganho líquido caracteriza-se pelo desconto da energia consumida na energia produzida (EPLCA, 2007).

O balanço energético da utilização de etanol deve quantificar e considerar o consumo de energia inserido na produção de nutrientes, inseticidas e herbicidas nas plantações de cana-de-açúcar. Também é necessário ter conhecimento da energia consumida pela mão-de-obra, e quanto combustível é consumido por hectare de cana-de-açúcar plantada. Finalmente, é preciso ponderar a energia consumida para o beneficiamento da matéria prima, a fim de produzir o biocombustível (TURDERA, 2013). Assim, o balanço energético considera a análise sistemática da energia envolvida nos processos produtivos do ciclo de vida do biocombustível (LOPES, 2006).

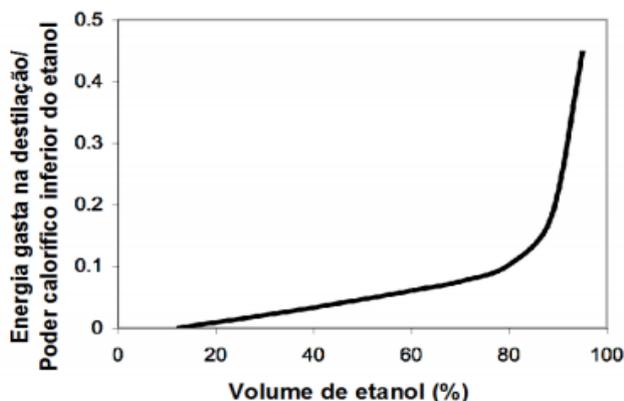
Segundo Soares et al (2009), a energia utilizada na preparação do solo para a produção de cana-de-açúcar e seu processo de conversão para etanol é baixa, quando comparada a energia disponibilizada pelo biocombustível. Este fato deve-se porque o cultivo desta biomassa demanda apenas um preparo de área para seis colheitas consecutivas (SALLA; CABELLO, 2010).

A palha e o bagaço da cana-de-açúcar, provenientes da plantação, podem ser utilizados diretamente para queima nas caldeiras a fim de gerar energia, em biodigestores, ou para a produção de etanol de segunda geração (SORDI; MANECHINI, 2013). Dessa forma o sistema de cogeração de energia nas usinas diminui o consumo de energia necessária para a produção de etanol a partir da cana-de-açúcar.

A Figura 1 representa a energia consumida na fase industrial de destilação de acordo com a concentração de etanol em água a partir de 12% de etanol.

A energia necessária para destilar uma mistura de até 80% de etanol em água evolui de forma linear. Porém, um aumento brusco do consumo de energia é percebido para concentrações a partir de 80% de etanol. A medida que se aproxima de 95,6% de etanol em volume, o gasto energético com a desidratação aumenta exponencialmente, elevando o valor final do produto (ROBERTSON; PAVLATH, 1985). A energia consumida na destilação de etanol com concentração de 95% corresponde a 50% da energia contida no etanol (PIMENTAL; PATZEK, 2008).

Figura 1 - Consumo de energia no processo de destilação do etanol.



Fonte: Aceves e Flowers (2007).

O balanço energético é a razão entre a energia disponibilizada pelo biocombustível e o consumo de energia necessária para a produção desse, resultando em um saldo energético (COSTA et al., 2006). Ou seja, refere-se a quantas unidades de energia renovável são produzidas através de uma unidade de energia fóssil (EPLCA,2007).

Conforme RFA (2013) a razão entre a energia disponibilizada pelo etanol, oriundo da cana-de-açúcar, e a energia fóssil utilizada na produção do biocombustível, é de até nove unidades para uma unidade, respectivamente (BNDES; CGEE, 2008; MACEDO; SEABRA; SILVA, 2008; WANG et al., 2012). De acordo com Milanez et al (2014) isso resulta em vantagem ambiental e econômica do etanol de cana-de-açúcar. Também, ressalta-se a vantagem social, pois a energia renovável pode criar até quatro vezes mais empregos que as energias de fontes fósseis (POLLIN et al., 2008, p. 11). Consoante a isso, a Relação Anual de Informações Sociais, RAIS, informou que no ano de 2011 o etanol da cana-de-açúcar gerava seis vezes mais empregos que o petróleo (FARINA; RODRIGUES; SOUSA, 2013). Essas vantagens são resultadas da geração de emprego pela produção de etanol por pequenas e grandes agroindústrias, e por conta do fornecimento da matéria prima.

2.3 AVALIAÇÃO AMBIENTAL: AS EMISSÕES DE POLUENTES

O balanço dos gases de efeito estufa, GEE, é obtido pela contabilização do sequestro deste na incorporação da biomassa, e da emissão de GEE no ciclo de vida do biocombustível (MILANEZ et al, 2014). Como o balanço energético, o balanço da emissão dos poluentes também deve abordar desde a extração dos recursos naturais, a produção agrícola e o

processamento agroindustrial. Também é necessário considerar disposição final e trabalho com transporte. Esse balanço utiliza a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida, ACV, de um produto. Essa metodologia é baseada, padronizada e reconhecida internacionalmente pelas normas ISO 14040:2006 e 14044:2006.

E a sustentabilidade da utilização de etanol baseia-se que todo o CO₂ proveniente da queima de produtos da biomassa é reciclado através da fotossíntese, atuando no crescimento da biomassa (BNDES; CGEE, 2008). Sendo que a utilização desse combustível a partir da cana-de-açúcar reduziu cerca de 10% as emissões de carbono de todo o setor energético (UFES, 2007).

A avaliação ambiente é relacionada com a massa de dióxido de carbono equivalente, esta unidade representa o potencial de impacto causado pelo CO₂. Sendo que o dióxido de carbono equivalente é o resultado da multiplicação das toneladas emitidas dos gases de efeito estufa pelo seu potencial de aquecimento (OMETTO; MANGABEIRA1; HOTT, 2005).

2.4 CUSTOS

Existem três pontos a serem considerados ao analisar o custo do etanol: custo da biomassa, custo do processamento e a taxa de conversão da biomassa para os produtos (MACEDO; NOGUEIRA, 2004). Os custos são classificados como diretos, indiretos, fixos e variáveis, dependendo da relação com o produto final (PADOVE, 2013; PEREZ; OLIVEIRA; COSTA, 2012; BORNIA, 2010). Vale ressaltar que a produção de etanol de primeira e de segunda geração em uma mesma planta industrial apresenta melhores resultados econômicos em comparação aos processos isolados (DIAS et al., 2012; SORDI; MANECHINI, 2013).

Dessa maneira, a análise econômica deve avaliar os custos empregados em análise de solo, calcário, adubo químico, adubo orgânico, muda de cana, inseticida, herbicida, mecanização, recursos humanos na implantação e condução do canavial e no corte, carregamento e transporte da cana à usina, depreciação de equipamentos e benfeitorias. Bem como os custos de oportunidade relativos à remuneração dos colaboradores, benfeitorias e do terreno, juntamente com os custos de conversão do etanol, destilação, impostos, transação e transporte do produto acabado (SANTOS; MARION; SEGATTI; 2009).

Com isso é preciso avaliar os custos da biomassa empregados no cultivo da cana-de-açúcar. De acordo com o CCGE (2005) o avanço na mecanização no segmento de colheita, em decorrência da extinção das queimadas nos canaviais imposta pela legislação ambiental,

possibilitou a redução de custos e ganhos de qualidade. Todavia, o custo total da biomassa ainda corresponde a 60% do custo de produção do açúcar e etanol (PECEGE, 2015).

Os custos de processamento são relacionados ao processo industrial do etanol. E compreendem as seções de recepção, preparo e moagem, tratamento do caldo, fabricação do açúcar e destilaria de álcool, além das utilidades, disposição de efluentes e estocagem de produtos (BASTOS, 2007). Essas etapas produtivas estão relacionadas aos custos de mão-de-obra, máquinas, infraestrutura, materiais de suprimentos. E as taxas de conversão de biomassa que utilizam leveduras na fermentação no processo de conversão da sacarose em etanol (MACEDO; NOGUEIRA, 2004).

A etapa de destilação possui grande importância industrial, visto que existe alto consumo de energia, devido ao contato das fases líquida e vapor. Nas torres de destilação, quanto mais próximo do topo da coluna, maior tende a ser o teor alcoólico, a concentração de compostos voláteis na fase vapor a ser condensada, e o consumo de energia (KETZER, 2013). A otimização das condições operacionais e aperfeiçoamento das colunas de destilação tem contribuído no sucesso econômico dos processos (MARQUINI et al., 2007). Afim de aumentar a eficiência e minimizar o gasto energético, resultando em menores custos para as empresas (KETZER, 2013; CADORE, 2011; WERLE, 2007).

Os custos de produção correspondentes a destilação e desidratação do etanol correspondem a 20% dos custos totais relacionados com a energia empregada nos processos (BALDO; MAYER; HOFFMAN, 2013). Além disso, quando a concentração do destilado é reduzida de 95% para 80% em volume, há uma redução de 42% no consumo energético do processo de destilação (BENGTSON, 1983).

Outro fator relevante é transporte que se refere à movimentação da cana-de-açúcar até as usinas, e do etanol até o consumidor. A primeira movimentação ocorre logo após o corte da cana para evitar perdas na sacarose (BNDES; CGEE, 2008). Esses transportes são realizados predominantemente por caminhões através do transporte rodoviário.

De acordo com Associação Nacional do Transporte de Cargas os custos de transporte são compostos da remuneração mensal do capital investido, salário do motorista, reposição do veículo, licenciamento, seguro do veículo, seguro de responsabilidade civil facultativo. Compreendem também salários, ordenados, honorários de diretoria, encargos sociais aluguéis de áreas e imóveis, tarifas de serviços públicos. Além de, serviços de manutenção, serviços profissionais de terceiros, impostos e taxas, despesas com conservação de bens e instalações, refeições e lanches (DECOPE, 2014, p. 19). Como também custos com peças, acessórios e material de manutenção,

despesas com combustível lubrificantes, lavagem e lubrificações, pneus e recauchutagens (DECOPE, 2014, p. 20).

2.5 PISCINA DE FOGO

Segundo Nakakuki (2002) piscina de fogo é definida como uma chama que tem sua propagação estabelecida em cima de uma superfície de combustível. Os experimentos de combustão utilizam piscinas de fogo geralmente com diferentes tamanhos (SIKANEN, HOSTIKKA, 2016). Visto que, as pesquisas com piscinas de fogo frequentemente focam o estudo na obtenção da taxa de reação, influência do ar na combustão, altura da chama e pulsação, produção de fuligem e radiação.

Como exemplo de pesquisas que utilizaram este experimento, cita-se a pesquisa de Zhou et al (2017) que utilizou onze combustíveis diferentes, e um prato de quartzo com diâmetro de 9,5 cm como recipiente. Referente ao álcool etílico, observou-se que a distribuição de radiação possui um pico localizado perto da superfície do combustível, e o etanol tem menor altura de chama, sem estrutura de “encaixe” na forma da chama.

Outro estudo realizado por Hakkarainen, Korhonen e Vaari (2017), utilizou misturas de etanol e água, com concentrações de etanol de 5%, 10%, 15%, 20%, 30%, 40%, 50% e 96,1% do volume das amostras. O estudo concluiu que a carga de incêndio significativa não foi formada até que a porcentagem de etanol seja 20% do volume ou mais. Foi estimado a radiação das chamas na superfície da piscina, cerca de 10-15 kW/m², sendo diretamente proporcional a concentração de etanol das misturas.

A pesquisa experimental de Breaux e Acharya (2013) utilizou etanol hidratado com concentrações de água entre 0% e 40%. O estudo conclui que até 35% de concentração de água em etanol é possível obter uma chama estável. Também a utilização de etanol com até 20% de água oferece uma redução na concentração de óxidos de nitrogênio (NO_x) de escape e uma redução nas temperaturas máximas da chama sem reduzir a eficiência de combustão ou a taxa de calor de exaustão. Esse combustível poderia ser produzido a um custo de capital mais baixo do que o etanol anidro, o que proporcionaria um benefício econômico apesar do aumento do consumo volumétrico, usado como potencial substituto do álcool anidrido.

Rahman et al (2016) utilizou etanol com concentração de água de 0% a 40% em motores. Os resultados indicam que a taxa de crescimento da chama e a velocidade de propagação da chama são aumentadas adicionando até 20% de água em volume no etanol, indicando um efeito positivo da água em concentrações relativamente baixas. Verificaram também que o atraso na

ignição era mais curto à medida que o teor de água era aumentado até uma fração de volume de 20%. Assim, com concentrações de água de 30% ou mais, as interações água-etanol tornaram-se mais significativas do que as interações etanol-etanol e os efeitos de diluição tornaram-se dominantes.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A análise econômica, energética, ambiental e de segurança do uso do etanol hidratado, possuíram características de uma pesquisa descritiva (Andrade, 2010). De acordo com a natureza, a metodologia apresentada foi aplicada (GIL, 2010). E as informações medidas e analisadas a partir da realização do experimento possuíram abordagem quantitativa (FONSECA, 2002).

A pesquisa foi experimental em relação aos procedimentos, composta pelo objeto de estudo, variáveis independentes, e os efeitos causados por essas (GIL, 2010; KLEIN et al., 2015). Essa composição refere-se ao etanol hidratado como objeto de estudo, a concentração desse em água como principal variável independente, e a energia produzida pela combustão, as emissões de dióxido de carbono e os custos como os efeitos.

Uma bureta de 25 ml (resolução 0,1 ml) e uma balança, marca KERN, (resolução 0,001 g) foram utilizadas para a composição das amostras de 20 ml e concentrações de 90%, 80%, 70%, 60%, 50%, 40% e 30% etanol em água. As concentrações foram representadas pelas siglas E90W10, E80W20, E70W30, E60W40, E50W50, E40W60, E30W70, respectivamente. Um recipiente cilíndrico de alumínio, com 1,4 mm de altura (h) e 64,98 mm de diâmetro (D), foi empregado no experimento para compor a piscina de fogo.

Para a medição da temperatura do ambiente nas proximidades da chama foram utilizados termopares em três pontos, à distâncias de: $D/8$, $D/4$ e $D/2$ a partir da borda do recipiente de combustível e, também, em dois pontos da altura h e $h+D/2$, nas mesmas distâncias.

Uma câmera fotográfica e um termovisor foram utilizados para análise das características visuais dessa, como cor, brilho, intensidade e forma. O termovisor, da fabricante Flir, modelo TG165 também, a resolução das imagens é de 50x60 pixels, e este equipamento mede temperaturas compreendidas entre uma faixa de valores de -25 a 380°C , com precisão de 1,5% sendo respeitada uma distância mínima de 26cm. A imagem da chama está representada na Figura 2.

Figura 2 - Imagem direta da chama (esquerda) e do termovisor (direita).



Fonte: Autor (2016).

3.1 TERMOPAR

O termopar tem seu funcionamento explicado pelo efeito Seebeck. Esse efeito é a produção de uma diferença de potencial elétrico, quando a extremidade mais quente faz com que os elétrons dessa região tenham maior energia cinética e se acumulem no lado mais frio, gerando uma diferença de potencial elétrico entre as extremidades do condutor na ordem de alguns milivolts (mV) (FIALHO, 2013).

Visto que o termopar é composto por dois metais diferentes acoplados, que entram em contato por duas juntas, a quente e a fria, sendo criada uma força eletromotriz. Essa força eletromotriz é devido ao gradiente de temperatura, entre as junções, e a natureza do material (KUS et al., 2015). A sensibilidade do termopar é definida pela unidade do coeficiente de Seebeck é $\text{mV}/^{\circ}\text{C}$. Essa sensibilidade refere-se ao valor da variação da força eletromotriz do termopar, quando o gradiente de temperatura que ele está submetido varia (FIALHO, 2013).

Existem diversos modelos de termopares, dependendo dos materiais que compõem as uniões. Alguns deles são apropriados para medições em combustão, devido à resistência ao ambiente com alta temperatura e com a abrasão causada pela fuligem. Desta forma, o modelo K foi selecionado para utilização neste trabalho devido à adequação ao ambiente (de -270°C a $+1200^{\circ}\text{C}$), a grande sensibilidade ($41 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$) e a baixa incerteza de medição associada (0,75%) (FIALHO, 2013).

3.2 RADIAÇÃO

De acordo com Zhang et al (2015) alguns fatores podem influenciar a emissividade dos materiais, como a temperatura, comprimento de onda, composição química, rugosidade e oxidação da superfície. Muños et al (2007) afirmaram que a emissividade de uma chama depende do seu tamanho e do combustível utilizado na combustão. Sendo que, o poder emissor muda ao longo da superfície da chama, e zonas cobertas de fumaça tem baixo poder emissivo. Portanto, não é possível medir a distribuição de temperatura de uma chama utilizando um termovisor.

A lei de Stefan-Boltzmann relaciona a radiação térmica de um corpo com sua temperatura, conforme a Equação 4.

$$E_R = \varepsilon\delta T^4 \quad (4)$$

Nessa equação E_R representa a energia radiada por unidade de área (W/m^2), a constante de Stefan-Boltzmann, δ é $5,7 \times 10^{-8}$ (W/m^2K^4), a temperatura absoluta é expressa por T (K), e a emissividade é ε (FIALHO, 2013). A partir dessa equação, em função da temperatura, foi calculada a energia radiante das piscinas de fogo.

Segundo Ris (1979) a radiação é o modo de transferência de calor dominante em incêndios de escala considerável e desempenha um papel importante nos mecanismos de crescimento e propagação da chama. Compreender as características radiativas dos incêndios fornece uma base fundamental para a modelagem do crescimento do fogo (CHATEERJEE, 2011).

Conforme Hu (2017) a radiação frequentemente é expressa como uma fração da taxa total de liberação de calor, e é importante para a determinação da taxa de queima, sendo dominante na combustão de experimentos com piscinas de fogo com diâmetros grandes. Também, Drysdale (2011) enfatizou que a radiação térmica da piscina de fogo depende dos produtos da combustão, CO_2 e água, que após a reação encontram-se em temperaturas elevadas, e das partículas de fuligem. A água juntamente com o dióxido de carbono emite radiação na faixa espectral do infravermelho, e as partículas de fuligem abrangem o espectro visível (HANKINSON; LOWESMITH, 2012).

Utilizou-se a Equação 5, a fim de determinar a distância segura para pessoas e equipamentos de acordo com o Instituto Americano de Petróleo (API, 1969). Assim, é recomendado que objetos e operadores permaneçam a uma distância, d , mínima da fonte, a fim de manter o controle da exposição à radiação (ALMEIDA, 2013,).

$$d = \sqrt{\frac{Q_T \tau F_R}{4\pi q_r}} \quad (5)$$

Nesta equação τ corresponde a transmissividade do meio, adimensional, q_r é a radiação que o objeto é exposto (W/m^2), e Q_T é a energia total emitida (W) (API, 1969). A fração de energia da chama que é emitida para o ambiente é expressa por F_r .

Foi necessário considerar o nível de radiação e o tempo de exposição para pessoas e materiais a piscina de fogo (SILVA; VENTURINI; CAETANO, 2016). Assim, a carga térmica é descrita como o produto da radiação incidente com o tempo. Observa-se que o efeito em uma pessoa significa a dose de radiação não ionizante, que foi expressa na Equação 6.

$$J = \int Q_R^{4/3} dt \quad (6)$$

A dose de radiação é representada por J (W/m^2), e a parcela de energia irradiada é dada por Q_R (W). De acordo com Lowesmith et al. (2007) a dose de radiação de 5 kW/m^2 pode ser tolerada durante um minuto e, por conseguinte, a partir desse valor é razoável assumir a evacuação do ambiente.

O modelo definido pelas Equações 4, 5 e 6 permitiram determinar a distância mínima segura para pessoas e equipamentos e a dosagem de radiação em um intervalo de tempo de exposição.

3.3 ENERGIA

De acordo com Drysdale (2011) em piscina de fogo o fluxo de calor da chama para o líquido é expresso como a soma da condução, convecção e radiação. A condução refere-se à transferência de calor através da borda do recipiente, representada na Equação 7 (DRYSDALE, 2011).

$$q''_{\text{condução}} = k_1 \pi D (T_F - T_l) \quad (7)$$

Nesta equação, T_F é a temperatura de chama T_l a temperatura do líquido, D é o diâmetro da piscina e k_1 é a constante de transferência.

A convecção direta para a superfície do combustível é calculada com a Equação 8, nela k_2 é o coeficiente de transposição de calor convectivo (DRYSDALE, 2011).

$$q''_{\text{convecção}} = k_2 \frac{\pi D^2}{4} (T_F - T_l) \quad (8)$$

A radiação para a superfície é expressa na Equação 9. Para a radiação k_3 é a constante de Stefan- Boltzmann, k_4 é um coeficiente relativo à absorção da radiação emitida pela chama

por parte dos produtos que são formados pela combustão e estão ao redor da chama (DRYSDALE, 2011).

$$q''_{\text{radiação}} = k_3 \frac{\pi D^2}{4} (T_F^4 - T_L^4) (1 - \exp(-k_4 D)) \quad (9)$$

3.4 CENÁRIO

Os experimentos com piscina de fogo, para a combustão do etanol, foram realizados no Núcleo de Automação e Processos de Fabricação da Universidade Federal de Santa Maria (NAFA UFSM). O ambiente da realização do experimento era um local fechado, sendo que temperatura, umidade e pressão eram ambientes e não controladas. Os equipamentos necessários para a realização das medições foram cedidos pelo NUPEDDEE.

O processo de fabricação do etanol é realizado na Usina Piloto do Colégio Politécnico da UFSM, onde o biocombustível foi adquirido para a pesquisa. A produção do etanol nessa usina foi proveniente de doação, por parte da Receita Federal, de bebidas destiladas apreendidas e descartadas por ela, e experimentos com cana-de-açúcar local, entre outras culturas. O preço do litro do biocombustível etanol para a aquisição nesta usina foi simbólico de R\$ 1,00, e o preço do litro na cidade de Santa Maria-RS, no mês de maio de 2017, foi de R\$ 3,613 em média de acordo com a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, ANP.

3.5 ETAPAS DA PESQUISA

A sequência de etapas do desenvolvimento desta pesquisa está delineada como: referencial teórico, aquisição de materiais, composição das amostras, realização do experimento, aquisição das informações, análise das informações, avaliação do processo e conclusões. A primeira etapa está apresentada na seção 2. O referencial teórico foi elaborado, principalmente, a partir da utilização de livros e artigos obtidos em sites de pesquisa acadêmicos, como *Emerald*, *Scielo*, *ScienceDirect*, *Scholar Google* e por meio do portal de periódicos da CAPES.

A temperatura e umidade para o início do experimento não foram controladas. A fase de aquisição de informações iniciou na realização das medições, simultâneo a realização do experimento. É importante ressaltar que no momento da combustão a chama era livre numa superfície aberta.

A fase de aquisição de informações ainda contou com a procura de informações sobre o plantio da cana, transporte e produção no etanol nas usinas. Os gráficos da temperatura, tempo de combustão e ponto de inflamabilidade foram feitos para as diferentes diluições do etanol. Assim como, foram realizados os cálculos para sugerir o tempo de exposição e distância segura relativos para pessoas e equipamentos. O ponto de inflamabilidade foi realizado de acordo com a norma ASTM D92-16B.

Nas medições durante o experimento com piscina de fogo e nas pesquisas do ciclo de vida do etanol, foi considerado apenas as emissões equivalentes de dióxido de carbono (CO_2eq). Visto que o CO_2 é definido com um dos gases que contribuem para o efeito estufa.

O balanço energético, as emissões de CO_2 e os custos totais foram obtidos a partir de uma revisão bibliográfica. Assim, foi possível identificar etapas em que a energia empregada, as emissões e os custos eram mais relevantes. Logo, com todas as informações analisadas foi identificada a diluição de etanol mais eficiente na condição de piscina de fogo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ENERGIA

O balanço energético foi obtido utilizando informações de trabalhos da literatura, os quais foram compilados em fase agrícola, fase industrial e a fase de distribuição do etanol, que correspondem a 54, 28 e 18%, respectivamente.

A energia da fase agrícola inclui a parcela da energia consumida com plantação, cultivo, colheita e transporte. Também, foi avaliado o gasto com máquinas, óleo diesel, fertilização, sementes, herbicidas, inseticidas, transporte de insumos e da cana.

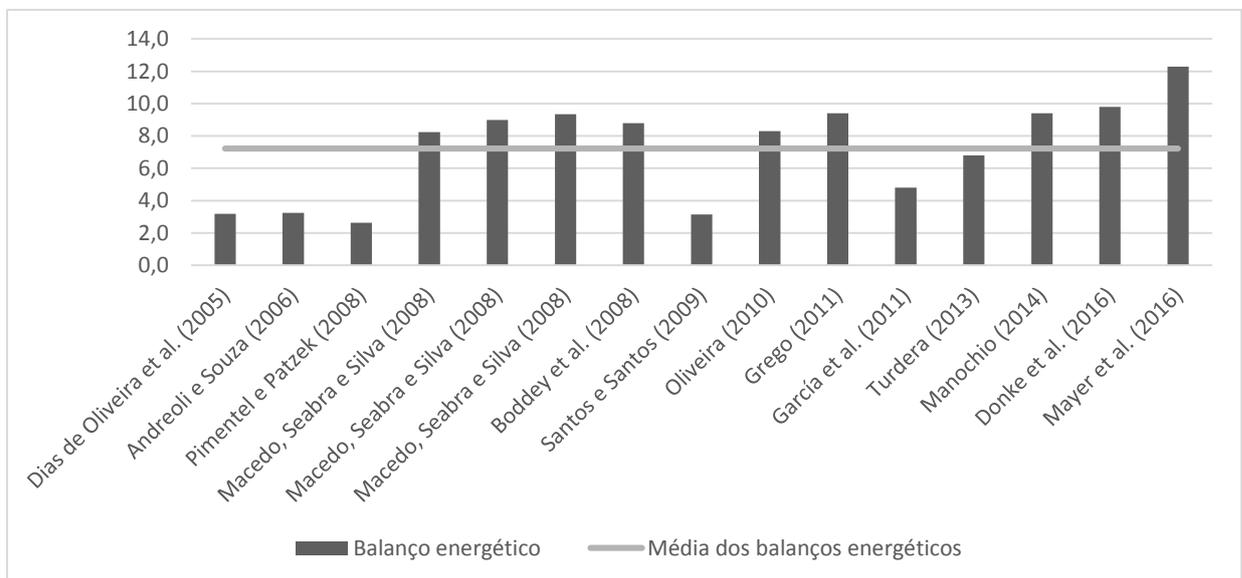
O consumo de combustível pelas máquinas agrícolas é 22,3 l/ha/ano de óleo diesel que corresponde a 1062,7 MJ/ha. Visto que a maior parte do combustível é utilizada na implantação da cultura (SOARES et al., 2009). Além disso, o transporte da cana do campo até a usina tem um gasto elevado de combustível fóssil, correspondendo a 2058 MJ/ha/ano (BODDEY et al., 2008).

A fase industrial considera os processos de extração e tratamento do suco, fermentação, destilação, desidratação e manutenção. Grande quantidade de energia é utilizada nas fases de limpeza, esmagamento da matéria prima, esteiras e aquecimento da matéria prima na usina.

A Figura 3 demonstra o balanço energético do etanol segundo alguns autores. O balanço energético não possui unidade de medida, ele representa a razão entre a energia renovável produzidas e a energia fóssil consumida.

A energia empregada na distribuição do etanol aumenta sua representatividade com a distância percorrida pelo produto acabado da usina até o destino. Dessa maneira, a fim de simplificar os estudos, a maioria dos autores não consideram a fase de distribuição do etanol para a avaliação da energia empregada no ciclo do etanol, pois esta pode variar bastante de acordo com as condições da região.

Figura 3 - Balanço energético ao longo da última década, para vários autores.



Fonte: Autor (2017).

Os valores apresentados que estão mais discrepantes com a média, sendo esta 7,2 unidades de energia renovável por uma unidade energia fóssil, são devidos às particularidades das pesquisas. Essas estão relacionadas ao ano, utilização de bagaço, cogeração de energia, regiões de plantio, porte das usinas, distribuição do biocombustível, instalações, manutenções, mão de obra, entre outros componentes.

Mayer (2016) analisou somente o etanol como resultado, e obteve o maior balanço energético, este de 12,3. No entanto, considerou que 30% do bagaço da cana-de-açúcar foi utilizado para a substituição da lenha nas caldeiras. O restante do bagaço foi utilizado na produção de silagem. Assim, obteve um balanço energético otimista.

Turdera (2013) avaliou a energia utilizada para a produção de etanol em cinco usinas do Mato Grosso do Sul, obteve um balanço energético médio de 6,8. O autor considerou a energia consumida na fase de distribuição do etanol como 2,82 GJ/ha, essa distribuição é realizada da usina para as estações de distribuição do etanol. Além disso, o autor considerou somente a produção de energia resultante da utilização do etanol, não considerando a produção de energia elétrica excedente e a utilização do bagaço excedente.

Dias de Oliveira et al. (2005) considerou a mesma energia empregada para a distribuição do etanol que Turdera. Enquanto Pimentel e Patzek (2008) assumiram que a distribuição consome 7,62 GJ/ha, o que influenciou numa menor razão entre a energia renovável e a fóssil.

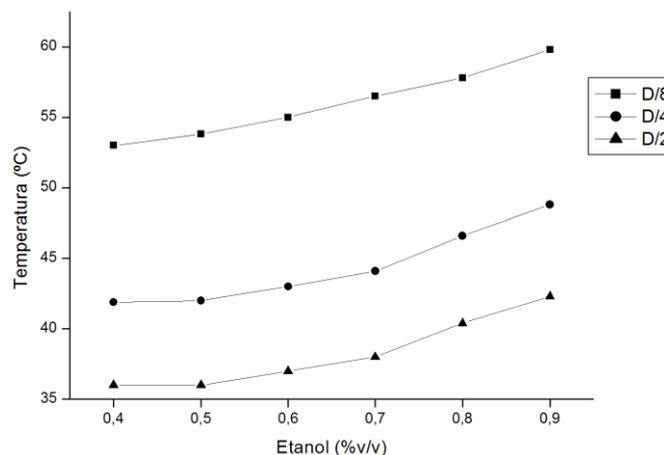
Macedo, Seabra e Silva (2008) avaliaram três situações de saída de energia: o etanol, o etanol juntamente com o bagaço, e o etanol com o bagaço e eletricidade. Essas situações resultaram nos balanços de 8,2, 9,0 e 9,3, respectivamente.

Santos e Santos (2009) realizaram a pesquisa em microdestiladiras, essas possuem escala de produção reduzida. Os autores obtiveram o balanço de 3,2, enquanto Garcia et al. (2011) realizou sua pesquisa no México, esse país não possui o mesmo nível de desenvolvimento do Brasil para a produção cana-de-açúcar, tendo como resultado 4,8.

Vale ressaltar que, para todos os casos, a relação de energia atingiu um número superior a 1, confirmando o potencial da biomassa como fonte de energia.

A Figura 4 demonstra a temperatura da combustão do etanol, esta temperatura relaciona-se com a energia de acordo com a secção 3.3.

Figura 4 - Temperatura do ambiente em diferentes distâncias a partir da chama.



A temperatura está relacionada com a radiação e com a transmissão de calor pelo mecanismo de radiação. Além disso, os valores de temperatura apresentados no gráfico se relacionam com a energia de acordo com as Equações 7, 8 e 9 da seção 3.3. Para a solução das equações é preciso conhecer as constantes k_1 , k_2 , k_3 , k_4 , todavia não foi realizado o estudo de caso para a estimativa real dessas constantes. Então, foi utilizado somente o valor da temperatura para a discussão e não calculado a transmissão de energia.

Nota-se na Figura 4 que com o aumento da diluição do etanol a temperatura diminui em aproximadamente 4% para cada concentração. Além disso, a medida que a distância aumenta a partir da chama a temperatura diminui.

4.2 EMISSÕES DE CO₂

As emissões dos gases de efeito estufa (GEE) de toda a cadeia de produção de etanol foi avaliada em termos de CO₂ equivalente. Os resultados das emissões estão compilados na Figura 5.

Essas pesquisas consideraram as emissões do consumo direto de combustíveis e eletricidade, emissões da produção de insumos como fertilizantes, herbicidas, lubrificantes e sementes. Além das emissões relacionadas à usina durante o processo industrial. A média encontrada para as emissões foi de 0,7 KgCO₂eq/l.

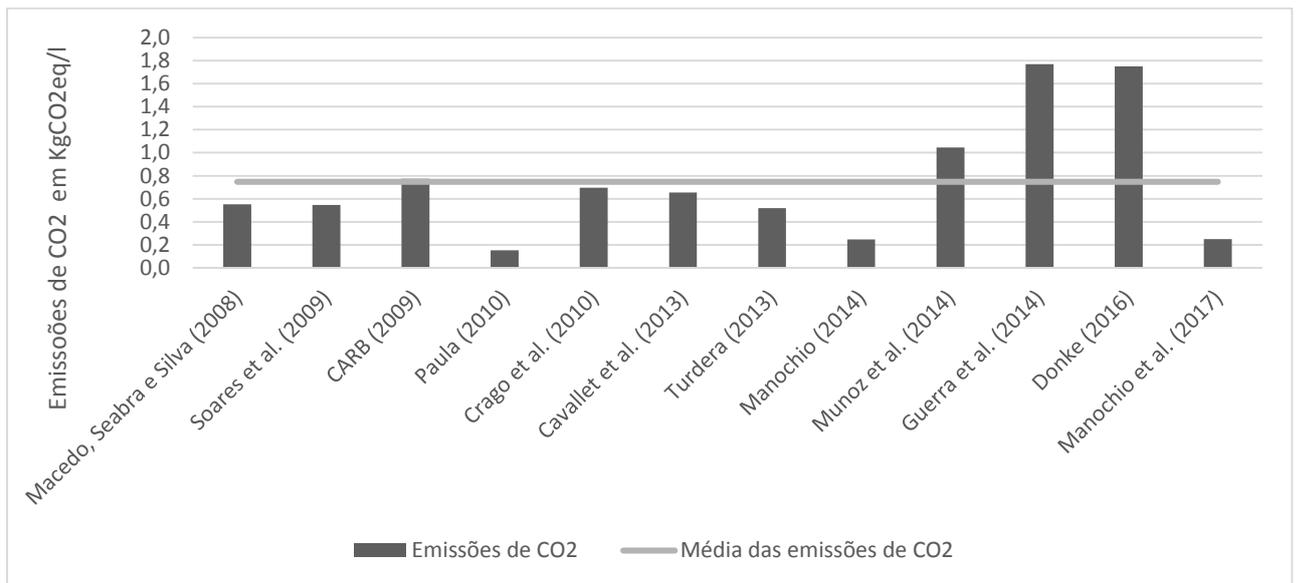
A maioria das áreas cultivadas utilizam a queima da palha para a colheita, essa técnica convencional ainda é utilizada, mas existem movimentos contra esse método. Soares et al. (2009) comparou as emissões de CO₂eq no sistema de colheita manual da cana queimada e da colheita da cana crua. O sistema de queima emite 2,2 t CO₂eq/ha, enquanto que as emissões do mecanizado são 0,44 t CO₂eq/ha. A substituição da queima pela colheita mecanizada representa 80% a menos de poluição.

Conforme Paula (2010) a produção do etanol emitiu 0,15 KgCO₂eq/l. Essa pesquisa assumiu que, adotando a colheita da cana-de-açúcar crua há mitigação de 66,03 t/ha/ano de CO₂eq. Por outro lado, Manochio et al. (2017) considerou a cogeração de energia elétrica a partir do bagaço, o que reduziu significativamente as emissões de CO₂, atingindo um total de 0,22 KgCO₂eq/l.

Os autores acima da média são Munoz et al. (2014), Guerra et al. (2014) e Donke (2016), obtiveram 1 KgCO₂eq/l, 1,8 KgCO₂eq/l e 1,7 CO₂eq/l, respectivamente. Para Donke (2016) os aspectos que mais influenciaram seu resultado foram as emissões da expansão da área agrícola, queima de óleo diesel no transporte e operações e as emissões provenientes da queima da palha

na etapa pré-colheita da cana-de-açúcar. A pesquisa de Donke (2016) foi realizada numa usina localizada no Mato Grosso, enquanto Munoz et al (2014) realizou no Centro-Sul e Guerra et al (2014) no estado de São Paulo.

Figura 5 - Emissões totais de CO₂ (KgCO₂eq/l) para produção de etanol.



Fonte: Autor (2017).

Turdera (2013) estimou que 145,3 toneladas de CO₂eq são sequestradas por hectare. Soares (2009) considerou que a utilização do biocombustível emite 9,6 t CO₂ eq/ha, assumindo a combustão total e, na fase agrícola, industrial e distribuição são emitidas 3,2 t/ha.

Para Manochio (2014) não há emissão de GEE devido ao uso de combustíveis fósseis nas usinas que geram a própria energia a partir da queima do bagaço de cana-de-açúcar. As emissões diretas de CO₂eq relacionadas à queima do bagaço e fermentação do caldo não são consideradas na emissão total, considerando que, o carbono liberado na queima e fermentação será sequestrado pela fotossíntese e irá compor a vegetação durante o próximo cultivo (MANOCHIO, 2014).

A média de emissões de CO₂ equivalente foi de 0,7 kgCO₂/l durante a produção do etanol, que corresponde a 3,6 t/ha. Dessa maneira, na perspectiva de gases de efeito estufa durante todo o ciclo de produção do etanol verificou-se que existe ganho, pois o CO₂ sequestrado é maior do que a quantidade de CO₂ emitido quando não é considerada as emissões geradas pela produção de energia elétrica.

4.3 CUSTOS

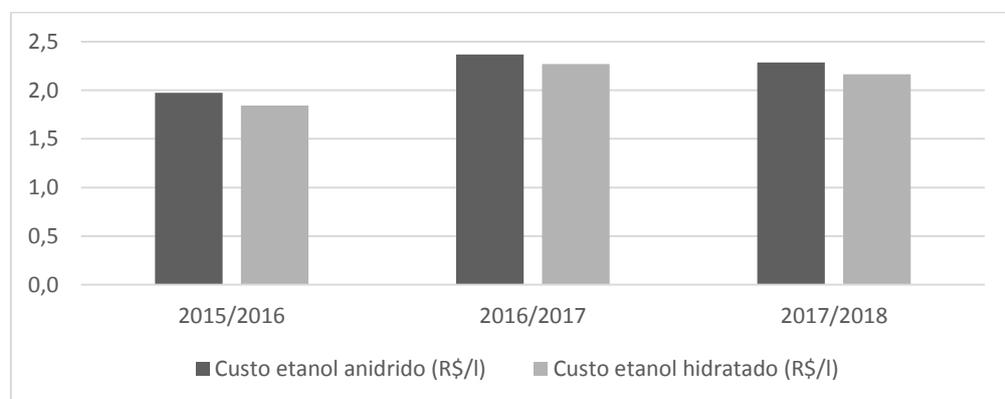
Desde a safra de 2007/2008 ocorre a realização da projeção dos custos de produção agroindustriais do setor sucroenergético (Bigaton et al., 2015; 2016; 2017). Neste trabalho, foi apresentado a previsão dos custos totais para a produção do etanol anidrido e hidratado das safras 2015/2016, 2016/2017 e 2017/2018 da região Centro-Sul do Brasil.

A Figura 6 representa somente a previsão do custo total (CT) do etanol. Os custos são classificados em custo operacional efetivo (COE), custo operacional total (COT) e custo total (CT). De acordo com Bigaton et a. (2016) o COE refere-se aos custos dos processos agrícola e industrial, juntamente com arrendamento, mão de obra, insumos, despesas administrativas, manutenção e reparos. Enquanto o COT é a depreciação das máquinas, benfeitorias, equipamentos de irrigação e investimentos industriais somada ao COE. O CT é a soma do COT com a remuneração da terra e com o capital utilizado no processo produtivo (Bigaton et al., 2015).

Na previsão da safra de 2015/2016, os autores indicaram que o mix de produção do setor sucroenergético foi direcionado ao etanol hidratado. A previsão para 2016/2017 apresentou que o aumento dos custos estava relacionado ao declínio da produtividade agrícola e ao baixo nível de renovação e, envelhecimentos nos canaviais.

Bigaton (2016) considerou que para a diminuição dos custos uma das principais atividades necessárias é a cogeração de energia elétrica. Assim, o bagaço é queimado, gerando energia elétrica. Bigaton (2017) ressaltou a queda da área colhida e de produtividade na previsão para a safra de 2017/2018 e, também, a queda nos custos de produção do etanol.

Figura 6 - Previsão do custo total para a produção do etanol (R\$/l).



Fonte: Elaborado com base em Bigaton et al. (2015, 2016, 2017).

Este trabalho realizou uma pesquisa com os custos de produção de etanol na fase agrícola, industrial e distribuição. Os custos relacionados a fase agrícola demonstraram-se menores comparados aos custos da fase industrial. Isso depende da renovação da plantação da cana-de-açúcar, todos os autores consideraram que essa renovação ocorre a cada seis colheitas.

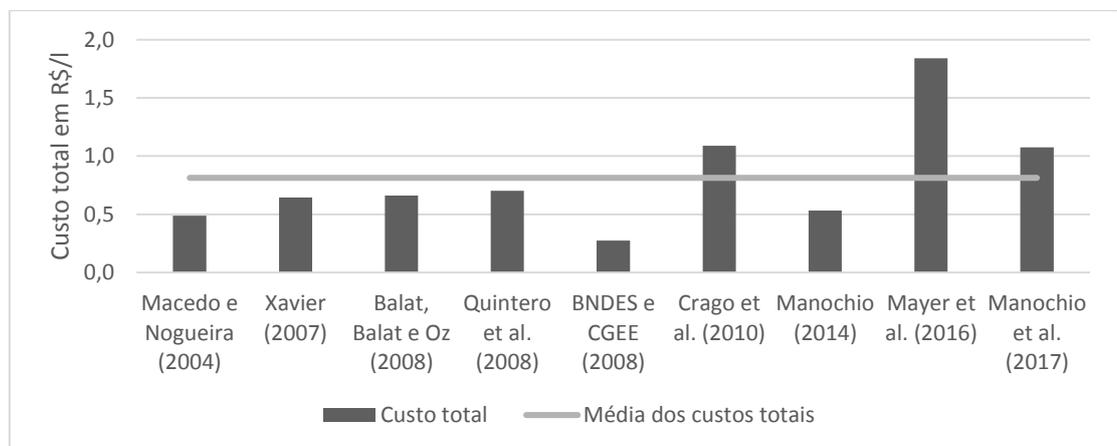
O custo de distribuição afeta o preço final do biocombustível. Essa relação é influenciada pelo fato de a produção de etanol estar localizada principalmente na região Centro-Sul do Brasil. Dessa maneira, o etanol pode ter uma variação de até 40% no custo devido ao transporte (ANP, 2016).

A Figura 7 representa os custos totais de produção de etanol para alguns autores e a média dos custos. A média encontrada entre os autores foi de 0,8 R\$/l. Alguns autores estão distantes da média devido as particularidades de cada pesquisa.

A pesquisa de Mayer et al. (2016) considerou a produção de etanol hidratado, venda do bagaço e o custo médio de matéria prima. Apesar disso, como a pesquisa foi realizada numa micro-destilaria, isso refletiu num alto custo, 1,8 R\$/l, devido à produção em baixa escala. O autor também obteve que o custos para o consumidor final, incluindo produção, impostos e margem de lucro do produtos, distribuidor e posto de gasolina, seria de R\$ 3,60 por litro (MAYER et al., 2016).

Manochio (2014) ressaltou que o custo de R\$ 0,53 por litro de etanol é resultado das baixas despesas para o cultivo da matéria-prima, a cogeração de energia e a produção de etanol de 2ª geração.

Figura 7 - Custo total.



Fonte: Autor (2017).

A partir disso existe uma relação entre custos, energia consumida e energia fornecida na combustão pelo biocombustível, sendo possível realizar uma estimativa de diluição limite de etanol para transportá-lo, considerando um cenário geral.

O etanol E70W30 consome menos energia na fase industrial de destilação para ser produzido comparado ao E90W10. Para a produção do E90W10 é empregada uma grande quantidade de energia, e a energia fornecida pela combustão do E70W30 é cerca de 10% menor que a produzida pelo E90W10. Todavia, os custos de distribuição são maiores que os custos de destilação e desidratação, o que inviabiliza o transporte do combustível que possui 30% de água. Dessa forma, o etanol E80W20 pode representar a melhor alternativa como substituto do E90W10. Assim, o percentual no custo de 20% para destilação e 30% para o transporte se alteram, fazendo com que o processo de desidratação seja o fator dominante no consumo de energia e, conseqüentemente, do custo.

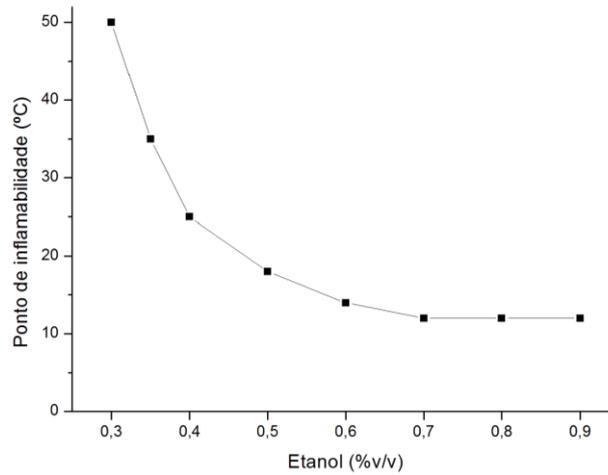
4.4 SEGURANÇA

As análises de segurança relacionaram a temperatura da chama com a diluição do etanol, tempo de queima, distância da piscina e ponto de inflamabilidade. O limite de inflamabilidade depende de uma série de fatores, dentre esses destaca-se a temperatura. De modo a avaliar a influência da temperatura no limite de inflamabilidade, somente a temperatura foi modificada. A temperatura nesse ponto não é responsável pela combustão instantânea do líquido, pois para a ignição é necessário algum aporte energético externo.

A Figura 8 mostra o ponto de inflamabilidade para as diluições de 90% até 30%. Vale ressaltar que a amostra de E30W70 foi aquecida para a definição do ponto de inflamabilidade.

A misturas em menores diluições atingem o ponto de inflamabilidade com temperaturas menores que a do ambiente, enquanto misturas mais diluídas devem ser aquecidas para atingir esse ponto. Essas informações são importantes para manter a segurança de armazenagem do etanol, e então para a definição de qual diluição do etanol é a mais adequada para armazenar, afim de preservar a saúde de pessoas e materiais em torno das áreas de armazenamento.

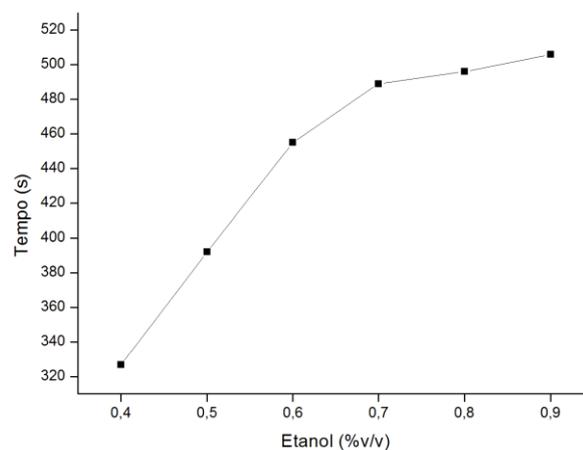
Figura 8 - Ponto de Inflamabilidade (°C)



Fonte: Autor (2017).

A Figura 9 representa o tempo de queima do etanol de acordo com cada diluição, as amostras possuíam 20 ml. O tempo de queima corresponde a duração da combustão até que todo etanol presente na mistura seja consumido, ou até que a mistura se torne tão pobre que nem os altos valores de temperatura da mistura sejam suficientes para satisfazer o limite de inflamabilidade.

Figura 9 - Tempo de queima (s).



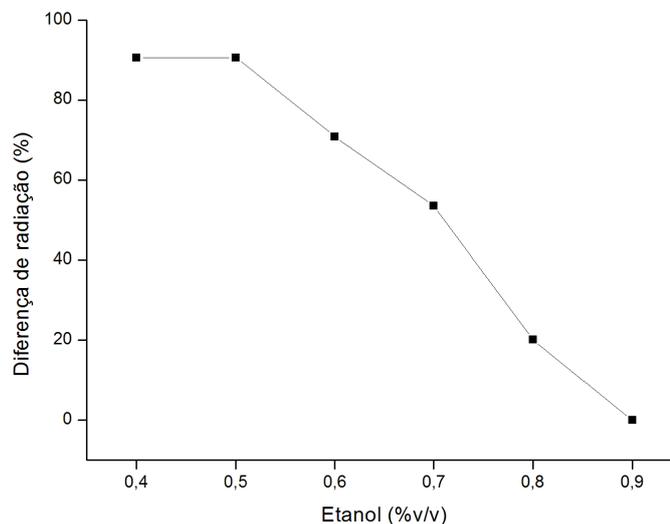
Fonte: Autor (2017).

Na Figura 9 à medida que a concentração de etanol aumentou, o tempo de queima da mistura também aumentou. As amostras com maior presença de água queimaram mais rápido, e representaram diluições que guardariam mais a segurança em ambientes de armazenamento.

Os valores da temperatura de queima, lidos ao longo do tempo, em posições a partir da distância $D/2$, utilizando termopar estão representados na Figura 4. A partir dela foi elaborada a Figura 10 que representa a diferença percentual de energia radiante entre as chamas em diferentes diluições.

Os testes foram realizados com uma chama livre a temperatura e pressão ambiente. O cálculo da energia radiante depende do fator de forma, da emissividade e da temperatura. O fator de forma é muito suscetível a mudanças da estrutura da chama, assim como a emissividade. Portanto, os valores aproximados desses parâmetros foram estimados e considerados constantes para todos os casos abordados neste estudo, pois exercem menor influência sobre os resultados se comparados com a temperatura, cujos valores foram apresentados na Figura 4.

Figura 10 - Diferença percentual de energia radiante (ER) entre as chamas de diferentes diluições de etanol (%).



Fonte: Autor (2017).

Conforme a Figura 10, a diferença da radiação entre o etanol E90W10 e o E80W20 é de aproximadamente 20% e aproximadamente de 50% para E70W30. O tempo de exposição e a distância reagem de forma não linear para as diluições apresentadas. Nas misturas com maior concentrações de etanol a água passou do estado líquido para vapor e irradiou juntamente com

o etanol. Nos casos do etanol mais diluído a água permaneceu líquida e não irradiou, fazendo com que a chama esfriasse e irradiasse menos.

Além disso, a radiação é proporcional ao volume da chama. O recipiente em que ocorreu a queima do etanol foi um recipiente pequeno com uma amostra pequena. Dessa maneira, se aumentasse o tamanho da piscina e o volume, obtendo uma chama vinte vezes maior, por exemplo, a energia irradiada seria vinte vezes maior, a distância vinte vezes maior e o tempo de exposição vinte vezes menor.

Com os percentuais entre as diluições de etanol é possível estimar o tempo de exposição e a distância adequados, visando salvaguardar operadores e equipamentos, conforme as relações e limites de dose citados na seção 3.2.

Por exemplo, no caso em que a energia radiante da temperatura média da chama foi 269 W/m^2 o operador poderia permanecer exposto a chama por 18 minutos. Todavia, considerando as condições de laboratório se a distância fosse calculada para a chama do experimento, conforme a API (1969), esta seria de milímetros. Portanto, para dar um exemplo mais real o estudo de Fontenelle (2012) considerou dois tanques de armazenamento de etanol com distância mínima de 30 m entre os costados dos tanques, cada tanque possuindo 30 m de diâmetro e 10 m de altura e um deles está incendiando. Conforme Fontenelle (2012), em um cenário sem atuação de vento, sem acionamento do dilúvio, a dosagem máxima de radiação de 5 kW/m^2 , determinada por Lowesmith et al. (2007), seria excedida na distância mínima de 12 m entre os costados dos tanques. No cenário com atuação do vento, este limite de 5 kW/m^2 foi violado para qualquer distância compreendida entre os tanques. Além disso, nesse cenário, segundo Fontenelle (2012), o fluxo de radiação a 9 m de distância sem e com acionamento do sistema de dilúvio ultrapassa $12,5 \text{ kW/m}^2$ e $37,5 \text{ kW/m}^2$.

5 CONCLUSÃO

O estudo foi realizado para avaliar a diluição ideal de etanol e água, em termos de armazenamento, transporte e utilização da energia. A análise emissões de CO_2 foi baseada em estudos que avaliaram o ciclo de vida para o etanol, em termos das fases, a saber: agrícola, industrial e distribuição. Também, foi avaliado o comportamento do limite de inflamabilidade, do tempo de queima e da emissão de radiação das chamas em relação à diluição.

A destilação do etanol até 80% consome aproximadamente 10% da energia equivalente ao poder calorífico do combustível produzido. O etanol E90W10 consome cerca de 20% desta mesma energia, o que aumenta o consumo de energia na fase industrial, reduzindo o balanço

energia e, assim, aumentando os custos de produção. O setor de destilação apresentou o maior consumo de energia direta relativo ao setor industrial, evidenciando a necessidade de aumentar a eficiência energética com a utilização do etanol hidratado.

As chamas do etanol E80W20 emitiriam 20% menos radiação comparado ao E90W10, então, considerando a segurança de operadores e equipamentos, há um ganho no tempo de exposição e na distância limite em caso de incêndio.

Contudo, este estudo sugere que o etanol E80W20 representa sensivelmente um combustível mais eficiente, limpo e seguro que o E90W10 para aplicações com chama livre. Por outro lado, em comparação com o E70W30 em termos de eficiência, poluição e segurança o E80W20 não apresentou diferenças significativas.

Constatou-se, também, que não existe um modelo simples que determine os níveis de diluição que gerem maior eficiência. As análises disponíveis na literatura não seguem um padrão e, mesmo que as fases do ciclo de vida para o etanol sejam semelhantes existem particularidades em cada trabalho que alteram drasticamente os resultados, como a safra, a região de plantio, escala de produção, técnicas agrícolas, utilização de subprodutos e a distribuição do produto acabado.

Para trabalhos futuros sugere-se que os testes com etanol variem a hidratação das amostras a cada 2%. Também, utilizar piscinas de diâmetros maiores, um radiômetro, e simular situações com influência do vento, aumento da temperatura ambiente e mudança de pressão.

REFERÊNCIAS

ACEVES, S.M.; FLOWERS, D. Improving ethanol life cycle energy efficiency by direct utilization of wet ethanol in HCCI engines. **Journal of Energy Resources Technology**, v. 129, p. 332-337, 2007.

ALMEIDA, J. **Estudo experimental da radiação térmica emitida por chamas laminares de difusão**. 2013. 26 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013.

ANP- Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Sistema de Levantamento de Preços**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/preco/index.asp>>. Acesso em: 29 out. 2016.

ANP- Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Sistema de Levantamento de Preços**. Disponível em: <http://anp.gov.br/preco/prc/Resumo_Por_Estado_Municipio.asp>. Acesso em: 29 mai. 2017.

ANDRADE, M. M. **Introdução à metodologia do trabalho científico**. 10. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

ANDREOLI, C.; SOUZA, S. P. de. Cana-de-açúcar: a melhor alternativa para conversão da energia solar e fóssil em etanol. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE AGROENERGIA, 59.,2006. Disponível em: <http://ecen.com/eee59/eee59p/cana_melhor_conversorl.htm>. Acesso em: 20/10/2017.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE (API). **Guide for Pressure-Relieving and Depressuring Systems-American Petroleum Institute Recommend Practice 521**. American Petroleum Institute, 1. ed., 1969.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D92-16B**: standard test method for flash and fire points by Cleveland open cup tester. West Conshohocken, 2016.

BALDO, V.; MAYER, D. F.; HOFFMAN, R. Cálculo do fator energético de colunas de destilação de pequena escala. In: JORNADA ACADÊMICA INTEGRADA, 28., 2013, Santa Maria/RS. **Anais...**Santa Maria/RS: Universidade Federal de Santa Maria, 2013. Disponível em: <http://coral.ufsm.br/cenergia/images/JAI_-_Vanessa.pdf>. Acesso em: 4 out. 2017

BASTOS, D. V. Etanol, álcoolquímica e biorrefinaria. **BNDES Setorial**, n. 25, p. 5-38, 2007. Disponível em: <<https://web.bndes.net/bib/jspui/handle/1408/2527>>. Acesso em: 15 jun. 2017.

BAUER, E. et al. Infrared thermography: evaluation of the results reproducibility. **Structural Survey**, v. 33, n. 1, p. 20-35, 2015.

BALAT, M.; BALAT, H.; OZ, C. Progress in bioethanol processing. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 34, n. 5, p. 551-573, 2008.

BIGATON, A. et al. Previsão de custos do setor sucroenergético na região Centro-Sul do Brasil: safra 2015/16. **iPecege**, v. 1, n. 3/4, p. 146-156, 2015.

BIGATON, A. et al. Previsão de custos do setor sucroenergético na região Centro-Sul do Brasil: safra 2016/17. **iPecege**, v. 3, n. 3, p. 65-70, 2017.

BIGATON, A. et al. Previsão de custos do setor sucroenergético na região Centro-Sul do Brasil: safra 2017/18. **iPecege**, v. 2, n. 3, p. 106-113, 2006.

BNDES; CGEE – BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL; CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS (Org.). **Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: BNDES, 2008.

BODDEY, R.M. et al. Bio-ethanol production in Brazil. **Biofuels, solar and wind as renewable energy systems**, v. 5, n. 13, p. 321-356, 2008.

BORNIA, Antonio Cezar. Análise gerencial de custos: aplicação em empresas modernas. São Paulo: Atlas, 2010.

BREAUX, B.B.; ACHARYA, S. The effect of elevated water content on swirl-stabilized ethanol/air flames. **Fuel**, v.105, p. 90-102, 2013.

CADORE, I. R. **Eficiência de torres de destilação**. 2011. 46 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

CARB - California Agency Air Resources Board, 2009b. **Detailed California-Modified GREET pathways for Brazilian sugarcane ethanol: average Brazilian ethanol, with mechanized harvesting and electricity co-product credit, with electricity co-product credit**. Disponível on-line em: < http://www.arb.ca.gov/fuels/lcfs/092309lcfs_cane_etoh.pdf >. Acesso em: 23 out. 2017.

CATALAN, P.; BERGER, E. Advanced biofuels: The evolution of international research networks. **World Journal of Science, Technology and Sustainable Development**, v. 7, n. 2, p. 151-161, 2010.

CAVALETT, O. et al. Comparative LCA of ethanol versus gasoline in Brazil using different LCIA methods. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 18, n. 3, p. 647-658, 2013.

CHATTERJEE, P. et al. A model for soot radiation in buoyant diffusion flames. **Proceedings of the Combustion Institute**, v. 33, n.2, p. 2665-2671, 2011.

COELHO, P.; COSTA, M. **Combustão**. Edições Orion. 1. ed. Outubro, 2007.

COELHO, S. T.; LUCON, O.; GUARDABASSI, P. Biofuels- Advantages and Trade Barriers. In: UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT, 2005. **Anais...**Genebra: UNCTAD, p. 2-28, 2005. Disponível em: <file:///C:/Users/User/Downloads/Biofuels_-_Advantages_and_Trade_Barriers.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2017

COSTA, R. E.; et al. O balanço energético preliminar na produção de biodiesel de óleo de palma par as condições do Brasil e da Colômbia. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 6. 2006, Campinas/SP. **Anais...** Campinas/SP: UNIFEI. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022006000100026&lng=en&nrm=abn>. Acesso em: 4 jun. 2017.

CRAGO, C.L. et al. Competitiveness of Brazilian sugarcane ethanol compared to US corn ethanol. **Energy Policy**, v. 38, n. 11, p. 7404-7415, 2010.

DEPARTAMENTO DE CUSTOS OPERACIONAIS (DECOPE). **Manual de Cálculo de Custos e Formação de Preços do Transporte Rodoviário de Cargas**. São Paulo: DECOPE, 2014, p. 80.

DIAS DE OLIVEIRA, M.E.; VAUGHAN, B.E.; RYKIEL, E.J. Etanol como combustível: energia, balanças de dióxido de carbono e pegada ecológica. **BioScience**, v. 55, p. 593 – 602, 2005.

DIAS, M.O.S. et al. Integrated versus stand-alone second generation ethanol production from sugarcane bagasse and trash. **Bioresource Technology**, v. 103, n. 1, p. 152-161, 2012.

DONKE, A.C.G. et al. Usina Flex: Comparação dos desempenhos ambiental e energético de etanol de cana-de-açúcar, milho e sorgo. In: CONGRESSO BRASILEIRO EM GESTÃO DO CICLO DE VIDA, 5., 2016, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Embrapa, 2016. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/web/mobile/publicacoes/-/publicacao/1064075/usina-flex-comparacao-dos-desempenhos-ambiental-e-energetico-do-etanol-de-cana-de-acucar-milho-e-sorgo>>. Acesso em: 25 out. 2017.

DRYSDALE, D. **An Introduction to Fire Dynamics**. 3. ed. United kingdom: John Wiley & Sons, 2011.

ESCOBAR, C.J. et al. Biofuels: environment, technology and food security. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.13, n. 6-7, p.1275-1287, 2009.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional 2016: Ano Base 2015**. Rio de Janeiro: EPE, 2014. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2016.pdf>. Acesso em: 6 abr. 2017.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional 2016: Ano Base 2016**. Rio de Janeiro: EPE, 2014. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2017_Web.pdf>. Acesso em: 6 nov. 2017.

EUROPEAN PLATFORM ON LIFE CYCLE ASSESSMENT (EPLCA). **Carbon Footprint: What it is and how to measure it**. Itália: EPLCA - European Commission, 2007.

FARINA, E.; RODRIGUES, L.; SOUSA, E. L. A política de petróleo e a indústria de etanol no Brasil. **Interesse Nacional**, n. 22, p. 64-75, 2013. Disponível em: <<http://interessenacional.com/index.php/edicoes-revista/a-politica-de-petroleo-e-a-industria-de-etanol-no-brasil/>>. Acesso em: 12 jun. 2017.

FIALHO, B. A. **Instrumentação industrial**: conceitos, aplicações e análises. 7. ed. São Paulo: Érica Ltda., 2013.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**: apostila. Fortaleza: UEC, 2002.

FONTENELLE, A. M. F. **Análise térmica em estruturas de tanques de armazenamento de etanol em situação de incêndio**. 2012. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

FURTADO, A. T.; SCANDIFFIO, M. I. G.; CORTEZ, L. A. B. The Brazilian sugarcane innovation system. **Energy Policy**, v. 39, n. 1, p. 156-166, 2011.

GARCÍA, C. A. et al. Life-cycle greenhouse gas emissions and energy balances of sugarcane ethanol production in Mexico. **Applied Energy**, v. 88, p. 2088–2097, 2011.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GOLDEMBERG, J. Ethanol for a sustainable energy future. **Science**, New York, v. 315, p. 808–810, 2007.

GOLDEMBERG, J. et al. Meeting the global demand for biofuels in 2021 through sustainable land use change policy. **Energy Policy**, v. 69, p. 14-18, 2014..

GREGO, L. B. M. de. **Eficiência energética do etanol e sua produção**: análise comparativa entre Brasil e EUA. 2011. Disponível em: <<https://sistemas.usp.br/siicusp/cdOnlineTrabalhoVisualizarResumo?numeroInscricaoTrabalho=3695&numeroEdicao=18>>. Acesso em: 22/10/2017.

GUERRA, J. P. M. et al. Comparative analysis of electricity cogeneration scenarios in sugarcane production by LCA. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 19, n. 4, p. 814-825, 2014.

HAKKARAINEN, T.; KORHONEN, T.; VAARI, J. Heat release characteristics of ethanol-water mixtures: Small-scale experiments. **Fire Safety Journal**, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2017.03.071>>. Acesso em: 27 mai.2017.

HANKINSON, G.; LOWESMITH, B.J. A consideration of methods of determining the radiative characteristics of jet fires. **Combustion and Flame**, v. 159, n. 3, p. 1165-1177, 2012.

HU, L. A review of physics and correlations of pool fire behaviour in wind and future challenges. **Fire Safety Journal**, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2017.05.008>>. Acesso em: 3 jun.2017.

INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. **ISO 14040**: environmental management: life cycle assessment: principles and framework. Genebra, 2006a.

_____. **ISO 14044**: environmental management: life cycle assessment: requirements and guidelines. Genebra, 2006b.

JASPER, S. P. et al. Análise energética da cultura do crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) produzida em plantio direto. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 3, p. 395-403, 2010.

KETZER, F. **Modelagem, simulação e controle de uma coluna de destilação descontínua apropriada à produção de etanol em pequena escala**. 2013. 123 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

KLEIN, Z. A. et al. **Metodologia de pesquisa em administração: uma abordagem prática**. São Paulo: Atlas, 2015.

KUS, A. et al. Thermocouple and infrared sensor-based measurement of temperature distribution in metal cutting. **Sensors**, v. 15, p. 1274-1291, 2015.

LAAIDI, N.; BELATTAR, S. Application of infrared thermography in the characterization of voids and honeycomb in concrete structure: Experimental results and numerical simulations. **International Journal of Structural Integrity**, v. 5, n. 2, p. 107-119, 2014.

LEAL, M.R.L. et al. Sugarcane straw availability, quality, recovery and energy use: A literature review. **Biomass and Bioenergy**, v. 53, p. 11-19, 2013.

LO, M.S. The use of thermography for the detection of external finishes defects of buildings in Hong Kong. **Structural Survey**, v. 17, n. 1, p. 22-26, 1999.

LOPES, E. M. **Análise energética e da viabilidade técnica da produção de biodiesel a partir de sebo bovino**. 2006. 106f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2006.

LOWESMITH, B. J. et al. An Overview of the Nature of Hydrocarbon Jet Fire Hazards in the Oil and Gas Industry and a Simplified Approach to Assessing the Hazards. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 85, n. 3, p. 207-220, 2007.

MACEDO, I. C.; NOGUEIRA, L. A. H. Avaliação da Expansão da Produção de Etanol no Brasil. **CGEE**, Brasília, jan. 2004. Disponível em: <<http://www.neema.ufc.br/Etanol4.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2017.

MACEDO, I. C.; SEABRA, J. E. A.; SILVA, J. E. A. R. Green house gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: the 2005/2006 averages and a prediction for 2020. **Biomass and Bioenergy**, v. 32, n. 7, p. 582-595, 2008.

MALFATTI, L. **Análise qualitativa do ciclo real e tempo de combustão em um motor padrão ASTM-CFR operando com mistura de gasolina e etanol hidratado**. 2008. 133 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia mecânica) - Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, 2009

MANOCHIO, C. **Produção de bioetanol de cana-de-açúcar, milho e beterraba: uma comparação dos indicadores tecnológicos, ambientais e econômicos**. 2014. 35 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química)- Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, MG, 2014.

MANOCHIO, C. et al. Ethanol from biomass: a comparative overview. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 80, p. 743-755, 2017.

MARQUINI F. M. et al. Simulação e análise de um sistema industrial de colunas de destilação do etanol. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 29, n. 1, p. 23-28, 2007.

MAYER, F.D. et al. Small-scale production of hydrous ethanol fuel: Economic and environmental assessment. **Biomass and Bioenergy**, v. 93, p. 168-179, 2016.

MILANEZ, A.Y., FAVARET FILHO, P. S. C.; ROSA, S. E. S. Perspectivas para o etanol brasileiro. **BNDES Setorial**, v. 27, p. 21-38, 2008. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set2702.pdf>. Acesso em: 6 abr. 2017.

MILANEZ, A.Y. et al. A produção de etanol pela integração do milho-safrinha às usinas de cana-de-açúcar: avaliação ambiental, econômica e sugestões de política. **Revista BNDES**, v. 41, p. 147-208, 2014. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/2496/1/RB%2041%20A%20produção%20de%20etanol_P.pdf>. Acesso em: 4 jun. 2017.

MORAES, A.F.D.M. et al. Jet biofuels in Brazil: Sustainability challenges. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 40, p. 716-726, 2014.

MUNOZ, I. et al. Life cycle assessment of bio-based ethanol produced from different agricultural feedstocks. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 19, n. 1, p. 109-119, 2014.

MUÑOZ, M. et al. Predicting the emissive power of hydrocarbon pool fires. **Journal of Hazardous Materials**, v. 144, n. 3, p. 725-729, 2007.

NAKAKUKI, A. Heat transfer in pool fires at a certain small lip height. **Combustion and Flame**, v. 113, n. 3, p. 259-272, 2002.

NIGAM, P.S.; SINGH, A. Production of liquid biofuels from renewable resources. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 37, n. 1, p. 52-68, 2011.

NOGUEIRA, L.A.H.; LORA, E.E.S. **Dendroenergia**: fundamentos e aplicações. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2003

OLIVEIRA, E. C. **Balanco energético na produção de álcool da cana-de-açúcar**: comparativo com a produção norte americana de etanol por meio da utilização de milho. 2010. 87 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física com ênfase em Física Ambiental) - Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Dourados, MS, 2010.

OMETTO, R.A.; MANGABEIRA, C.A.J.; HOTT, C.M. Mapeamento de potenciais de impactos ambientais da queima de cana-de-açúcar no Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...Goiânia**: INPE, 2005. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/17478/1/1796.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2017.

PADOVEZE, C.L. Contabilidade de custos: teoria, prática, integração com sistemas de informação (ERP). 2 ed. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

PAULA, M. et al. Fixação de carbono e a emissão dos gases de efeito estufa na exploração da cana-de-açúcar. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 3, p. 633-640, 2010.

PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA EM ECONOMIA E GESTÃO DE EMPRESAS (PECEGE). **Custo de produção de cana-de-açúcar, açúcar, etanol e bioeletricidade no Brasil: fechamento da safra 2014/15 e acompanhamento da safra 2015/16**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão de Empresas/Departamento de Economia, Administração e Sociologia. 2015. 73p.

PEREZ H. J.; OLIVEIRA, L. M.; COSTA, R. G. **Gestão estratégica de custos: textos, casos práticos e teste com as respostas**. 8 ed. São Paulo: Atlas, 2012

PIMENTEL, D.; PATZEK, T. Ethanol production: energy and economic issues related to U.S. and Brazilian sugarcane. **Biofuels, solar and wind as renewable energy systems**, v. 5, n. 14, p. 357-371, 2008.

POLLIN, R. et al. Green Recovery – A Program to Create Good Jobs and Start Building a Low-Carbon Economy. Centre for American Progress and Political **Economy Research Institute (PERI)**, University of Massachusetts, Washington, DC and Amherst, MA, USA. 2008, 42 p.

QUINTERO, J.A. et al. Fuel ethanol production from sugarcane and corn: comparative analysis for a Colombian case. **Energy**, v. 33, n. 3, p. 385-399, 2008.

RAHMAN, M.K. et al. Combustion characteristics of wet ethanol ignited using a focused Q-switched Nd:YAG nanosecond laser. **Fuel**, v. 165, p. 331-340, 2016.

RFA– Renewable fuels association. **Ethanol Industry Outlook**, 2013. Disponível em: <<http://ethanolrfa.org/page/-/PDFs/RFA%202013%20Ethanol%20Industry%20Outlook.pdf?nocdn=1>>. Acesso em: 4 jun. 2017.

RIS, J. Fire radiation- a review. **Symposium International on Combustion**, v. 17, n. 1, p. 1003-1016, 1979. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0082-0784\(79\)80097-1](https://doi.org/10.1016/S0082-0784(79)80097-1)>. Acesso em: 3 jun. 2017.

ROGALSKI, A.; CHRZANOWSKI, K. Infrared devices and techniques. **Opto-electronics Review**, v.10, p.111-136, 2002.

SALLA, D. A.; CABELLO, C. Análise energética de sistemas de produção de etanol de mandioca, cana-de-açúcar e milho. **Energia na Agricultura**, v. 25, n. 2, p.32-53, 2010.

SALVI, B.L.; SUBRAMANIAN, K.A.; PANWAR, N.L. Alternative fuels for transportation vehicles: A technical review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 25, p. 404-419, 2013.

SANTOS, G. J. MARION, J. C.; SEGATTI, S. **Administração de custos na agropecuária**. 4. ed. São Paula: Atlas, 2009.

SANTOS, R. E. R.; SANTOS, I. A. Análise da viabilidade energética da produção de etanol em microdestilarias. CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOENERGIA, 4., 2009, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPE, 2009. Disponível em: <<http://www.porthuseventos.com.br/site/eventos/2009/eventobioenergia.com.br/congresso/br/tecnica/RodolfoSantos.pdf>>. Acesso em 22/10/2017

SIKANEN, T.; HOSTIKKA, S. Modeling and simulation of liquid pool fires with in-depth radiation absorption and heat transfer. **Fire Safety Journal**, v. 80, p. 95-109, 2016.

SILVA, R. A.; VENTURINI, S. M.; CAETANO, R. N. Assessment of Flames Radiation Prediction. In: Joint Propulsion Conference AIAA / SAE / ASEE, 52., 2016, Salt lake. **Anais...** Salt Lake: Propulsion and Energy Forum, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.2514/6.2016-4902>>. Acesso em: 20 jun. 2017.

SOARES, L.H.B. et al. Mitigação das emissões de gases efeito estufa pelo uso do etanol da cana-de-açúcar produzido no Brasil. **Circular Técnica**, v. 27, p.1-14, 2009.

SOARES, L.H.B. et al. O etanol brasileiro e a mitigação na emissão de gases de efeito estufa. **Revista Brasileira de Bioenergia**, v.3, n. 6, p. 42-47, 2009.

SORDI, R.A.; MANECHINI, C. Utilization of trash: a view from the agronomic and industrial perspective. **Scientia Agricola**, v.70, n. 5, p.1-2, 2013.

TURDERA, V.M. Energy balance, forecasting of bioelectricity generation and greenhouse gas emission balance in the ethanol production at sugarcane mills in the state of Mato Grosso do Sul. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.19, p.582-588, 2013.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO. **Produção industrial de etanol a partir da cana-de-açúcar**. São Mateus, 2007.

XAVIER, M.R. The Brazilian sugarcane ethanol experience. **Competitive Enterprise Institute**, v. 3, 2007. Disponível em:< <http://www.cei.org/pdf/5774.pdf>>. Acesso em: 05 nov. 2017.

WANG, M. et al. Well-to-wheels energy use and greenhouse gas emissions of ethanol from corn, sugarcane and cellulosic biomass for US use. **Environmental Research Letters**, v. 7, p. 1-13, 2012.

WERLE, L. O. **Minimização dos transientes através de aquecimento distribuído em uma coluna de destilação**. 2007. 167 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

ZHANG, F. et al. An emissivity measurement apparatus for near infrared spectrum. **Infrared Physics & Technology**, v. 73, p. 275-280, 2015.

ZHOU, L. et al. Total radiative heat loss and radiation distribution of liquid pool fire flames. **Fire Safety Journal**, v. 89, p. 16-21, 2017.