



## Avaliação da transesterificação metanólica *in situ* de *Cyperus esculentus* Evaluation of methanolic *in situ* transesterification *Cyperus esculentus*

Matheus Romeiro Manoel dos Santos<sup>1</sup>

Edson Antonio da Silva<sup>2</sup>

Fernanda Tavares<sup>3</sup>

**Resumo:** A oleaginosa *Cyperus esculentus*, ou tiririca, possui alta reprodutividade e considerável quantidade de óleo em massa, tornando-a interessante para a produção de biodiesel; A técnica de transesterificação *in situ*, simplifica o processamento da biomassa e pode significar uma opção econômica de processo produtivo. Dentro deste contexto, este trabalho possui o objetivo de avaliar a transesterificação metanólica *in situ* em meio ácido do óleo de tiririca e a influência do solvente e temperatura. Inicialmente, realizou-se o procedimento Soxhlet para determinar o rendimento de óleo, em seguida, utilizou-se uma relação molar metanol: catalisador: solvente de 10:1:1, sendo o catalisador HCl e os solventes hexano e clorofórmio. A mistura reacional foi submetida as temperaturas de 50, 60 e 70 °C por 120 minutos, com posterior separação de fases e análise de ésteres totais via cromatografia gasosa. A cinética de reação foi obtida nos tempos de 5, 10, 15, 30, 60 e 120 minutos. O rendimento de óleo foi de 1%, indicando uma colheita precoce e uma baixa concentração de triglicerídeos nas raízes da tiririca. Na reação foram obtidos rendimentos em ésteres em torno de 20%, sendo os maiores rendimentos utilizando-se hexano a 70°C, indicando uma relação diretamente proporcional entre temperatura e rendimento. A partir de 60 minutos não houve aumento significativo do rendimento em ésteres, indicando que o sistema tenha alcançado equilíbrio químico. O estudo demonstra o potencial que a *Cyperus esculentus* possui como fonte de óleo na produção de biodiesel, desde que haja uma gama estudos técnicos e econômicos para construir-se um procedimento confiável, com alto rendimento e viabilidade econômica.

**Palavras-chave:** Biodiesel; Reação *In Situ*; Tiririca; Transesterificação.

<sup>1</sup> Universidade Estadual do Oeste do Paraná

<sup>2</sup> Universidade Estadual do Oeste do Paraná

<sup>3</sup> Universidade Estadual do Oeste do Paraná

**Abstract:** The oil plant *Cyperus esculentu*, or tiririca, has high reproducibility and considerable amount of bulk oil. The technique of in-situ transesterification simplifies the processing of biomass and can mean an economical option of the production process. Within this context, this work has the objective to evaluate the methanol *in situ* transesterification in oil acid medium of tiririca and the influence of solvent and temperature. Initially, Soxhlet procedure was used to determine the yield of oil, then, in test tubes, a molar ratio metanol:catalyst:solvente of 10:1:1 was used, being the catalyst HCl and solvents hexane and chloroform. The reaction mixture was subjected to temperatures 50, 60 and 70° C for 120 minutes, with subsequent phase separation and analysis of total esters via gas chromatography. The reaction kinetics were obtained in 5, 10, 15, 30, 60 and 120 minutes. Oil yield was determined 1%, indicating an early harvest samples and a low concentration of triglycerides in the roots of tiririca. In reaction yields were obtained esters around 20%, being the largest observer using hexane in 70 °C, indicating a directly proportional relationship between temperature and yield. After 60 minutes, no significant increase on the ester yield was observed, indicating that the system achieved chemical equilibrium. The study demonstrate the potential of *Cyperus esculentus* as an oil source in the production of biodiesel, as long as technical and economical studies are provided in order to build a reliable procedure, with high yield and economic viability.

**Keywords:** Biodiesel; *In Situ* Reaction; Tiririca; Transesterification.

---

## 1. Introdução

A utilização de energia está sempre ligada à questão de riqueza social, industrial e comercial, podendo viabilizar a comodidade e mobilidade, seja esta de pessoas, materiais, ferramentas ou informações, no entanto, os meios empregados na geração de energia podem significar danos graves ao equilíbrio dos ecossistemas e meio ambiente de modo geral. O aumento do efeito estufa devido à emissão de gases gerados pela queima de combustíveis fósseis, a geração de resíduos pelas indústrias de energia e acidentes catastróficos envolvendo derramamento de petróleo e contaminação radioativa promovem a destruição do meio ambiente e grandes alterações das condições climáticas, acabando por ter impactos nocivos para a saúde e segurança dos seres humanos (Donner et al, 2008).

Entre as principais fontes da energia que são consumidas atualmente no mundo estão o petróleo, carvão e o gás natural, sendo que todas estas possuem a mesma característica de serem limitadas, ou não renováveis, deste modo, muitos estudos indicam que em um futuro não muito distante estas fontes se esgotarão (Ferrari et al, 2005). Observando a necessidade da inclusão de fontes renováveis em suas matrizes energéticas, os países vêm investindo em grande escala no estudo de alternativas para minimizar a dependência energética de combustíveis fósseis (Baumgärtner, 2011).

O Brasil desenvolve estudos sobre alternativas energéticas visando um desenvolvimento baseado em sustentabilidade ambiental desde o ano de 1920, sendo que o país apresenta grande dependência em relação ao petróleo, muito utilizado como combustível no transporte de cargas e passageiros (Martins & Junior Andrade, 2014). Entre as alternativas se encontram os biocombustíveis, que além de representarem uma redução dos impactos ambientais, também podem significar uma oportunidade de crescimento econômico especialmente para os países em desenvolvimento com o Brasil, por meio do desenvolvimento regional e a estrutura social (Demirbas, 2005).

Dentre os tipos de biocombustíveis se encontra o biodiesel, que pode ser produzido por diversas matérias-primas diferentes, como óleos vegetais, gorduras animais, óleos usados em frituras e até matérias graxas de alta acidez. No Brasil existem 65 plantas produtoras de biodiesel autorizadas pela ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis), sendo que fatores geográficos, climáticos e econômicos locais determinam a escolha do óleo de maior potencial para produção do biodiesel em cada região do país (ANP, 2016).

O IBP (Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustível), a Coppead (Instituto de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração) e a Coppe (Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia) realizaram levantamentos do benchmarking internacional e verificaram que entre os países que possuem maior capacidade produtiva

instalada o Brasil se encontra na 5ª posição, com 1,5 milhões de toneladas de biodiesel ao ano, no entanto com potencial de produzir 2 milhões considerando todas as plantas em processo de autorização pela ANP (Encarnação, 2008).

A Lei nº 11.097, define biodiesel como “biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão ou, conforme regulamento, para geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil”. Atualmente, no Brasil a mistura de biodiesel ao diesel de petróleo que é comercializado se encontra em 7%, no entanto a Lei nº 613/2015, recentemente sancionada, estipula que essa mistura passará a ser 8% até início de 2017.

Segundo Ferrari et al (2005), o biodiesel também pode ser descrito como um monoalquil éster de ácidos graxos produzido por meio de fontes renováveis em um processo de transesterificação, onde é verificada a conversão de triglicerídeos em moléculas menores de ésteres de ácidos graxos, podendo ser empregado como combustível puro (100%), misturas com diesel de petróleo e ainda como aditivo.

O biodiesel apresenta algumas características vantajosas em relação aos derivados do petróleo e segundo Knothe et al (2006) dentre elas:

- é um combustível compatível com o diesel de petróleo na maioria de suas propriedades e produzido a partir de fontes renováveis;
- gera uma redução significativa nas principais emissões presentes nos gases de exaustão além de ser consideravelmente de menor toxicidade que em comparação ao diesel.

Knothe et al (2006) também apresentaram problemas encontrados no emprego do biodiesel, estando estes relacionados à:

- alto custo;
- aumento da concentração de NOx nos gases de exaustão;
- baixa estabilidade à oxidação em contato com o ar.

O óleo de soja ao longo de anos se consolidou como principal matéria-prima empregada na produção de biodiesel, alcançando a produção em escala desejada, no entanto, o preço elevado da semente, a baixa produtividade do óleo e ainda, considerando que a soja possui função alimentícia, acaba-se por gerar competitividade de solo e conseqüentemente aumento do valor dos alimentos (Sallet & Alvim, 2011).

Entre as plantas oleaginosas não alimentícias encontra-se a *Cyperus esculentus*, também conhecida como batatinha-de-junça, cebolinha, junça, junco, junquinho, tiririca amarela e tiriricão, considerada como uma das plantas infestantes de maior relevância no mundo,

encontrada principalmente em países de clima tropical e subtropical e em muitos de clima temperado (Gallina, 2011).

As características da *Cyperus esculentus* (Figura 1) são de uma planta de porte elevado entre 20 – 90 cm com a presença de rizomas com tendência de formar correntes de raízes, apresentando ainda uma porcentagem em massa de óleo em torno de 15 a 35%, o que representa vantagem em relação ao óleo de soja, com porcentagem de óleo em torno de 15-22% (Shilenko, 1979).



**Figura 1.** *Cyperus esculentus*.

Segundo Matos (2008), constatou-se que em um período de 114 dias, estimasse que é possível atingir uma produção de cerca de 15 toneladas de matéria vegetal de *Cyperus esculentus* por hectare, o que se deve a capacidade altamente reprodutiva da espécie, que se adequa em qualquer tipo de terreno dispensando o consumo de agrotóxicos, o que acaba por minimizar o risco de contaminações ao meio ambiente. Importante, ainda, ressaltar que a porcentagem de óleo observada na planta será dependente do solo e dos tratamentos recebidos pelo mesmo, como insumos, irrigação e etc.

Análises de custo benefício realizadas por meio do emprego da metodologia de Valor Presente Líquido (VPL), muito utilizada para analisar a viabilidade financeira de novos empreendimentos baseada em estimativas dos investimentos iniciais e retornos futuros, favorecem a produção de biodiesel de tiririca frente à produção de soja que se encontra consolidada no mercado, sendo que estas análises apresentaram um valor de VPL de R\$ 375.409,30, enquanto para a produção de biodiesel de soja um valor inferior de R\$ 38.597,20 (Gallina, 2011).

Ribeiro et al (2015), buscando propor tratamentos alternativos para os efluentes gerados na produção de biodiesel de *Cyperus esculentus*, obtiveram por meio de extração química uma porcentagem em massa de 26% de óleo utilizando-se hexano como solvente por sistema Soxhlet, com ciclos de extração de 12 horas.

Gallina (2011) avaliou a viabilidade da produção de biodiesel de *Cyperus esculentus*, e obteve um rendimento percentual em massa de 17% de óleo a partir da extração por solvente hexano em sistema Soxhlet com ciclo de 12 horas empregando a farinha produzida a partir da moagem do rizoma da planta. O autor estudou a transesterificação do óleo com álcool metílico (30% da quantidade de óleo) e hidróxido de potássio (3% da quantidade de óleo) como catalisador em meio com temperatura de 50 °C ao longo de 60 minutos, obteve uma porcentagem de 96,54% de teor de ésteres após realizar a transesterificação nas condições citadas por três vezes (obtendo 26,62, 83,25 e 96,54%).

Entre os processos mais utilizados atualmente para produção de biodiesel está a transesterificação homogênea em meio básico, que envolve etapas de preparação da matéria-prima, reação, separação de fases, recuperação e desidratação do álcool, e purificação dos ésteres e da glicerina (Parente, 2003).

Nos processos convencionais de produção de biodiesel, como a transesterificação homogênea em meio básico, os óleos vegetais precisam passar por uma série de etapas de preparo até estarem nas condições adequadas para sofrerem a transesterificação, o que implica em alto custo processual (Gama et al, 2010). A transesterificação em meio básico ainda possui o inconveniente de ser altamente sensível à presença de água e ácidos graxos livres, que afetam o rendimento da reação e a qualidade do biodiesel devido à formação de gel e sabão (saponificação) (Delatorre et al, 2011).

A busca por alternativas para minimizar os altos custos com processamento nos métodos convencionais de produção de biodiesel, como a partir da simplificação das rotas reacionais, propõe-se então o emprego da transesterificação *in situ*. A transesterificação *in situ* consiste na produção de ésteres alquílicos de ácidos graxos por meio da transformação dos triglicerídeos presentes em uma biomassa, envolvendo também a adição de um álcool e um catalisador, a pressão atmosférica e temperaturas controladas e moderadas (Hass & Wagner, 2011). Sendo que transesterificação é direta, utilizando a biomassa como a fonte de triglicerídeos, e não óleos refinados, as etapas de extração e refino do óleo são eliminadas, representando uma redução de custos.

Os catalisadores mais empregados nas transesterificações *in situ* são os homogêneos, que apesar de apresentar alta eficiência na catalise reacional, possuem a desvantagens de formar emulsões nos meios, dificultando o processo de separação e purificação do biodiesel (Gama et al, 2010).

Baumgärtner (2011) avaliou a produção de microalga do gênero *Scenedesmus sp.*, por meio de reação *in situ*, com uma razão volumétrica álcool:solvente:catalisador de 10:1:1, obtendo os maiores rendimentos com o solvente clorofórmio na temperatura de 60 °C,

independente do álcool empregado como reagente e com um tempo de 60 minutos suficientes para atingir uma conversão satisfatória.

Gama et al (2010), realizaram a transesterificação *in situ* do óleo de semente de girassol a temperatura de refluxo do metanol, sendo que entre as condições avaliadas, a reação com emprego da relação molar óleo:metanol de 1:120 e 5% de catalisador ( $K_2CO_3$  e KOH) apresentou conversão total de triglicerídeos em ésteres metílicos após 1 hora de reação.

Dentro deste contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar a transesterificação *in situ* do óleo de *Cyperus esculentus* (tiririca) empregando ácido clorídrico como catalisador e metanol na presença de hexano e clorofórmio como solventes. Também foram avaliados os efeitos da temperatura na reação de transesterificação homogênea *in situ* e obtido a cinética de reação nas condições de maior rendimento.

## 2. Materiais e Métodos

### 2.1. Preparo da amostra

As amostras foram coletadas na cidade de Cruzeiro do Oeste, na área rural, aonde se localiza uma granja. Após coleta da tiririca, os rizomas, juntamente com as correntes de raízes, foram separados da parte herbácea da planta, sendo posteriormente limpos e lavados para retirar as sujidades.

A secagem dos rizomas se deu em duas fases, a temperatura ambiente, por um período de 48 horas aproximadamente, e outra em estufa sem circulação forçada ao longo de 48 horas na temperatura de 60 °C. Obtido os rizomas secos, moeram-se os mesmos e armazenou-se a farinha em recipiente com tampa a temperatura ambiente.



**Figura 1.** Fases do preparo da amostra.

### 2.2. Determinação da porcentagem de óleo

A fim de determinar o teor de óleo na amostra pesou-se 4,0087 mg da farinha seca feita a partir dos rizomas e raízes da *Cyperus esculentus* e empregou-se extração química utilizando-se hexano como solvente por sistema Soxhlet, com ciclo de 6 horas, a temperatura de refluxo do solvente. Ao final do ciclo o volume de éter foi evaporado em estufa a 60 °C e sabendo-se a massa do recipiente determinou-se o teor de óleo.

### 2.3. Reação de transesterificação *in situ*

Para realizar a transesterificação *in situ* pesaram-se 500 mg de biomassa de tiririca em balança analítica utilizando tubos de ensaio com capacidade de no mínimo 10 ml, providos de tampa. Foi adicionado a cada tubo 3 ml de uma solução contendo metanol, HCl (catalisador) e um solvente na razão volumétrica de 10:1:1. Estando a biomassa em suspensão na solução reacional, via agitação manual, colocou-se imediatamente no banho, com temperatura pré-determinada, por um período de 120 minutos. Este procedimento foi realizado empregando-se três diferentes solventes, hexano, clorofórmio e uma solução de ambos na razão volumétrica 1:1, sendo que para cada um deles avaliou-se a reação nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, sempre em duplicata, sendo posteriormente aplicado teste estatístico de Tukey a fim de avaliar a significância dos resultados obtidos.

Transcorrido a tempo de reação, os tubos foram retirados do banho e resfriados em água corrente até a temperatura ambiente. Resfriados, adicionou-se a cada um dos tubos 1 ml de água deionizada, em seguida, foi adicionado 2 ml de uma solução de lavagem contendo hexano e clorofórmio na razão volumétrica de 4:1, sendo o sistema agitado com auxílio do vortex. Com a separação das fases, foi retirado o sobrenadante com auxílio de pipeta Pasteur e transferido para novo tubo de ensaio de massa conhecida, a lavagem utilizando a solução de solventes foi realizada por três vezes. O solvente que diluía o produto da transesterificação foi evaporado em estufa a 60 °C e os tubos de ensaio reservados em freezer.



**Figura 2.** Fases da reação *in situ*.



A avaliação dos tempos de reação foi realizada variando-se os tempos do procedimento citado em 5, 10, 15, 60 e 120 minutos empregando o solvente e temperatura com de melhores rendimentos.

#### 2.4. Análise do teor de ésteres no óleo

Para efetuar a quantificação do teor de ésteres produzidos através da transesterificação *in situ*, os tubos de ensaio foram aquecidos até a temperatura ambiente, sendo posteriormente adicionado 1ml de solução de heptano contendo o padrão interno (PI) a uma concentração de 0,052 mg/ml, sendo o padrão escolhido o heptadecanoato de metila. Os tubos de ensaio foram agitados em agitador tipo vortex, garantindo que todos os ésteres presentes na amostra fossem solubilizados.

As análises foram realizadas análises em Cromatógrafo Perkin Elmer, modelo CP-3800, com detector de ionização de chama (DIC), sendo o gás hélio empregado como gás de arraste. A fim de verificar se o PI selecionado estava presente na amostra, realizou-se corridas testes, confirmando que o mesmo não se encontrava entre os ésteres presentes em solução, além de ser determinado o tempo de retenção do mesmo.

Realizada as corridas no cromatógrafo contendo as massas de óleo e PI conhecidas em solução, empregou-se a metodologia proposta por Visentainer e Santos Junior (2013), que quantificam em porcentagem o teor de éster no óleo por meio da equação abaixo:

$$\%_{\text{Ox}} = \frac{M_p \cdot A_x}{A_p \cdot M_o} \cdot 100 \quad (01)$$

sendo que:

$\%_{\text{Ox}}$  é o teor de ésteres totais no óleo (%);

$M_p$  é a massa de padrão presente na amostra inserida no CG (mg);

$M_o$  é a massa de óleo presente na amostra inserida no CG (mg);

$A_x$  é a soma das áreas no cromatograma relativa aos ésteres verificados na amostra analisada ( $\mu\text{V.s}$ );

$A_p$  é a área no cromatograma relativa aos padrão interno na amostra analisada ( $\mu\text{V.s}$ ).

### 3. Resultados e Discussões

#### 3.1. Teor de óleo

Por meio do procedimento via Soxhlet, obteve-se um rendimento de 1,05% de lipídeos totais extraídos, que é um valor abaixo dos encontrados por Ribeiro et al (2015) e Gallina

(2011), que foram de 26% e 17%, respectivamente, considerando que os mesmos utilizaram apenas o rizoma em seus estudos.

A biomassa utilizada nesta análise continha o rizoma e as raízes da *Cyperus esculentus*, podendo justificar o baixo rendimento comparado a Ribeiro et al (2015) e Gallina (2011), uma vez que entre as funções das raízes de uma planta está o transporte de nutrientes até o rizoma ou tubérculo que armazena o material nutritivo, entre eles os triglicerídeos.

A amostra utilizada não foi submetida a caracterização granulométrica, podendo significar que as moléculas de solvente enfrentaram grande resistência ao interagir com partículas de amostra de tamanho elevado, diminuindo a eficiência do processo de extração.

O rendimento encontrado pode também ser consequência de uma colheita precoce, uma vez que a maturidade fisiológica da planta não foi considerada, mesmo sendo, segundo Pessoa et al (2012), importante para obter uma colheita com máxima qualidade e rentabilidade. As condições de plantio implicam nos nutrientes disponíveis para o desenvolvimento da planta, sendo outro fator que pode levar ao baixo rendimento obtido.

A temperatura e solvente escolhidos para a extração podem influenciar no rendimento, considerando que o óleo possua fases polares e apolares, e ainda erros inerentes a qualquer prática experimental, como a perda de material na transferência de recipientes para evaporação do solvente.

### 3.2. Produção e quantificação de ésteres presentes no óleo

Inicialmente, é possível avaliar o teor de extrato obtido por meio da transesterificação homogênea *in situ*, a quantificação dos ésteres totais presentes, somente é realizada mediante análise cromatográfica posterior. Assim, a Tabela 1, permite verificar o teor de extrato obtido nas condições de temperatura e solvente analisadas.

**Tabela 1:** Percentual de extrato obtido via transesterificação *in situ*.

Solvente	Teor de extrato na biomassa seca (%)		
	à 50 °C	à 60 °C	à 70 °C
Hexano	2,92 ± 0,85	2,84 ± 0,76	3,02 ± 0,29
Clorofórmio	2,23 ± 0,43	2,37 ± 0,03	2,95 ± 0,24
Hexano+Clorofórmio	4,27 ± 2,14	3,10 ± 0,88	2,74 ± 0,44

Os teores de extrato obtidos foram maiores quando comparados aos determinados via procedimento Soxhlet, o que pode significar uma maior eficiência na metodologia de extração direta ou, analisando o alto valor do desvio padrão, uma maior suscetibilidade do método a erros experimentais, sendo que no momento da coleta do sobrenadante, utilizando a pipeta de Pasteur,

algumas partículas sólidas de biomassa ainda em suspensão podem ter sido arrastadas, mascarando a massa real de óleo extraída.

O teste de Tukey foi empregado, com nível de significância em 5%, e verificou-se que estatisticamente as mudanças de solvente e temperatura não contribuem de modo significativo para obterem-se resultados diferentes na extração dos triglicerídeos presentes na tiririca, isso pode ser consequência da falta de sensibilidade do método na análise de valores pequenos.

As leituras realizadas sobre os resultados da reação *in situ* em cromatógrafo gasoso foram feitas conforme metodologia de preparo fornecendo os resultados apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2:** Rendimento da transesterificação sobre o extrato da *Cyperus esculentus*.

Solvente	Rendimento da transesterificação (%)		
	à 50 °C	à 60 °C	à 70 °C
Hexano	17,99	20,94	26,24
Clorofórmio	15,12	22,09	15,92
Hexano+Clorofórmio	17,46	21,46	13,03

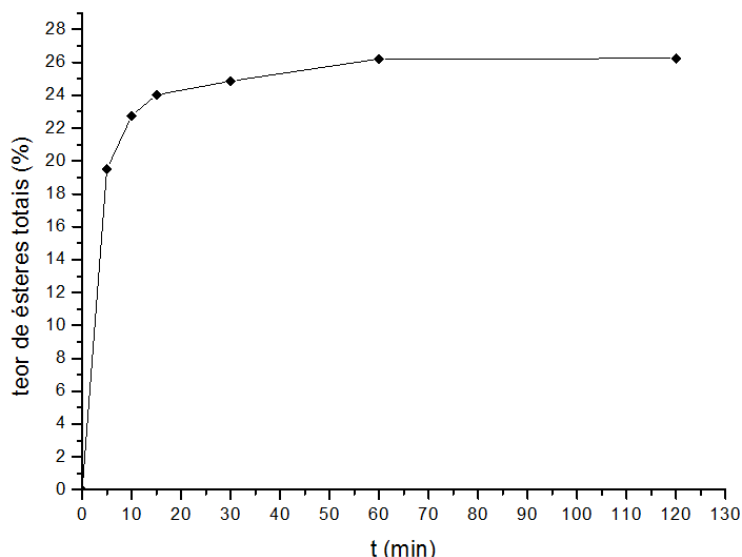
É possível observar que quando a temperatura estabelecida era de 70 °C utilizando hexano como solvente obteve-se o maior rendimento de ésteres totais dentre as condições avaliadas, sendo este é um valor compatível com o encontrado por Gallina (2011) em sua primeira transesterificação. O teor de ésteres obtido é inferior aos 96,5% de ésteres que é o especificado pela ANP para classificar um óleo como biodiesel, indicando que o óleo possa apresentar ainda alto teor de triglicerídeos, diglicerídeos e monoglicerídeos, sendo assim necessária nova transesterificação para atingir-se maiores conversões.

A temperatura é de grande influência em uma reação química, aumentando-se a mesma eleva-se a energia disponível no sistema fazendo com que as moléculas atinjam a energia de ativação necessária para que a reação ocorra, podendo assim justificar a proporcionalidade entre a conversão dos ésteres e a temperatura. Paralelamente, o aumento da temperatura favorece a evaporação do solvente, podendo desta forma haver vazamentos e consequentemente uma redução da conversão, como no caso do uso do clorofórmio a 70 °C.

É possível verificar que a polaridade do solvente contribuiu para os resultados, sendo que o hexano é um solvente considerado apolar e quando comparado ao clorofórmio, diz-se que é menos polar que o mesmo, tem se um indicativo da característica polar do óleo contido nas partículas de *Cyperus esculentus*.

### 3.3. Cinética de reação

Por meio das análises realizadas em CG para cada tempo de reação empregado, utilizou-se do *software Origin 8* para a construção da curva cinética de reação apresentada na Figura 4. A cinética foi realizada utilizando-se a temperatura de 70 °C com o emprego de hexano como solvente, uma vez que estas condições apresentaram maiores rendimentos conforme Tabela 2.



**Figura 3.** Cinética de reação da produção de ésteres totais via transesterificação homogênea *in situ*.

É possível observar que a partir de 60 minutos não houve um aumento considerável no rendimento da reação, podendo significar que neste instante o sistema atingiu o equilíbrio químico, ou seja, a taxa de desenvolvimento da reação direta se tornou igual à da reação inversa, sendo que esta condição de equilíbrio pode ser alterada modificando-se as condições de temperatura e razão volumétrica dos reagentes para obter-se maiores rendimentos.

### 4. Conclusões

Os mercados interno e externo mostram uma tendência crescente para o consumo de biodiesel, desta forma estudos que abram espaço para novas fontes da produção do mesmo, como a tiririca, são de suma importância para aumentar o volume de produção de biodiesel no Brasil.

Existem estudos que já comprovam que o emprego da tiririca na produção de biodiesel possui viabilidade econômica, sendo que as análises efetuadas por meio desta pesquisa mostraram que um cultivo adequado, com a quantidade de nutrientes suficientes para um crescimento sadio, juntamente com uma colheita realizada no período correto, influenciam significativamente no teor de óleo da *Cyperus esculentus*.

A reação *in situ* mostrou ser uma técnica de fácil execução, porém com rendimento de ésteres totais relativamente baixos, o que implica na necessidade de novas etapas de reação, a fim de se elevar o rendimento.

A polaridade dos solventes utilizados contribuiu para que o hexano mostrasse melhores resultados quando comparados ao clorofórmio, que possui característica de ser mais polar, e quando o meio reacional foi submetido a altas temperaturas, neste caso a maior sendo de 70 °C, constatou-se uma maior produção de ésteres, ou seja, uma relação diretamente proporcional entre temperatura e rendimento.

As análises mostram que a *Cyperus esculentus* pode vir a se tornar uma fonte promissora de biodiesel, no entanto, é necessário que haja uma gama estudos técnicos e econômicos para construir-se um procedimento confiável, com alto rendimento e viabilidade econômica, permitindo assim a produção em alta escala da tiririca.

## 5. Referências

ANP – Agência Nacional do Petróleo. Disponível em <<http://www.anp.gov.br>>, acesso em 20 de agosto de 2016.

BAUMGÄRTNER, T. R. S. 2011. *Cultivo e extração de óleo das microalgas Scenedesmus sp. e Spirulina sp. para a síntese de ésteres visando à produção de biodiesel*. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Maringá.

DELATORRE, A. B., RODRIGUES, P. M., AGUIAR, C. J., ANDRADE, V. V. V., ARÊDES, A. PEREZ, V. H. 2011. Produção de biodiesel: considerações sobre s diferentes matérias-primas e rotas tecnológicas de processos. *Perspectivasonline*, v. 1, n. 1.

DEMIRBAS, A. 2005. Progress and Recent Trends in Biodiesel Fuels, *Energy Conversion and Management*, v. 50, n. 1, 14-34.

DONNER, S. D., KUCHARIK, C. J. 2008. Corn based ethanol production compromises goal of reducing nitrogen expert by the Mississippi river. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. v. 105, n. 4, 513–518.

ENCARNAÇÃO, A. P. G. 2008. *Geração de biodiesel pelos processos de transesterificação e hidroesterificação, uma avaliação econômica*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

FERRARI, R. A., OLIVEIRA, V. S. O., SCABIO, A. 2005. Biodiesel de soja – taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em gerador de energia. *Química Nova*, v. 28 n. 1, 19-23.

GALLINA, A. L. 2011. *Uma alternativa sustentável para a produção de biodiesel: Cyperus esculentus*. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual do Centro-Oeste.

GAMA, P. E., GIL, R. A. S. S., LACHTER, E. R. 2010. Produção de biodiesel através de transesterificação *in situ* de sementes de girassol via catálise homogênea e heterogênea. *Química Nova*, v. 33, n. 9, 1859-1862.

HAAS, M. J., WAGNER, K. M. 2011. Substrate Pretreatment can Reduce the Alcohol Requirement During Biodiesel Production Via *in Situ* Transesterification. 2011. *J Am Oil Chem Soc*, v. 88:1203–1209.

KNOTHE, G., GERPEN, J. V., KRAHL, J., RAMOS, L. P. 2006. *Manual do Biodiesel*, São Paulo, Editora Edgard Blücher.

MARTINS, C., JUNIOR ANDRADE, P. P. 2014. Produção de biodiesel no Brasil: Estratégia de sustentabilidade social, econômica e ambiental. *Sustainable Business International Journal*, n. 40, 1807-5908.

MATOS, F. J. A.; CAVALCANTI F. S.; PARENTE, J. P. 2008. Estudo agrônomico qualitativo e quantitativo de *Cyperus esculentus* L. (junça): Uma fonte inexplorada de alimento energético. *Revista Ciência Agronômica*, v. 39, n. 1, 124-129.

PARENTE, E. J. 2003. *Biodiesel: uma aventura tecnológica num país engraçado*, Fortaleza, TECBIO.

PESSOA, A. M. S., MANN, R. S., SANTOS, A. G., RIBEIRO, M. L. F. 2012. Influência da maturação de frutos na germinação, vigor e teor de óleo de sementes de pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.). *Scientia Plena*, v. 8, n.7.

RIBEIRO, C. B., STROPARO, E. C., SOUZA, K. V. 2015. Produção de biodiesel a partir de *Cyperus esculentus* e tratamento do efluente oriundo da purificação. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v. 4, 73-85.

SALLET, C. L., ALVIM, A. M. 2011. Biocombustíveis: uma análise da evolução do biodiesel no Brasil. *Economia & Tecnologia*, v. 25.

SHILENKO, M. P. 1979. Chufa (*Cyperus esculentus*) as a source of vegetable fats in a sealed life-support system, *Kosm. Biological Aviakosm Medicine*, v.13, n. 5, 70-74.

VISENTAINER, J. V., JUNIOR SANTOS, O. O. 2013. *Aspectos analíticos e reacionais na produção e controle de qualidade do biodiesel de óleos e gorduras*. Maringá, Eduem.