

**Comparação do rendimento por diferentes métodos de extração de óleo da polpa de pequi**

**Comparison of yield by different methods of oil extraction from pequi pulp**

**Comparación de rendimiento por diferentes métodos de extracción de aceite de pulpa de pequi**

Recebido: 23/04/2020 | Revisado: 30/04/2020 | Aceito: 08/05/2020 | Publicado: 16/05/2020

**Lucas Melgaço Silva Cunha**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7036-6062>

Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Brasil

E-mail: [lucasmelgacocunha@gmail.com](mailto:lucasmelgacocunha@gmail.com)

**Ricardo Francisco Pires**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9597-266X>

Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Brasil

E-mail: [ricardo.pires@uftm.edu.br](mailto:ricardo.pires@uftm.edu.br)

**Kássia Graciele dos Santos**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7452-6900>

Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Brasil

E-mail: [kassia.santos@uftm.edu.br](mailto:kassia.santos@uftm.edu.br)

**Sandra Cristina Dantas**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4775-040X>

Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Brasil

E-mail: [sandra.dantas@uftm.edu.br](mailto:sandra.dantas@uftm.edu.br)

**Resumo**

O óleo extraído da polpa do pequi abrange benefícios em diversas áreas, variando da área médica até na produção de biodiesel, além de ser rico em carotenoides. O objetivo do trabalho foi comparar diferentes métodos de extração do óleo da polpa de pequi, e o estudo da viabilização de um concentrador solar como uma alternativa. Para a extração foram utilizados um aparelho Soxhlet, um ultrassom e um concentrador solar biangular de doze lados. A

amostra de polpa de pequi foi previamente secada e triturada com o objetivo de otimizar o processo de extração. Os solventes utilizados foram o etanol e o hexano. Quando a amostra foi deixada em estufa a 60°C por 16 horas para realizar a sua secagem, obteve-se um melhor rendimento de extração. Já o método que obteve melhor rendimento de óleo extraído foi o Soxhlet utilizando-se o hexano como solvente extrator (59,96%). O hexano mostrou-se um solvente mais adequado do que o etanol. Concluiu-se no experimento que o concentrador solar é uma boa alternativa para o processo de extração, porém possui algumas limitações, como a dependência da temperatura e da radiação solar e a grande quantidade de solvente que o mesmo utiliza.

**Palavras-chave:** Concentrador solar; Extração; Ultrassom.

### **Abstract**

The oil extracted from the pequi pulp encompasses benefits in several areas, ranging from the medical field to the production of biodiesel, in addition to being rich in carotenoids. The objective of the work was to compare different methods of oil extraction from pequi pulp, and the study of the viability of a solar concentrator as an alternative. For the extraction, a Soxhlet device, an ultrasound and a twelve-sided biangular solar concentrator were used. The pequi pulp sample was previously dried and crushed in order to optimize the extraction process. The solvents used were ethanol and hexane. When the sample was left in an oven at 60°C for 16 hours to perform its drying, a better extraction yield was obtained. The method that obtained the best yield of extracted oil was Soxhlet using hexane as the extracting solvent (59.96%). Hexane proved to be a more suitable solvent than ethanol. It was concluded in the experiment that the solar concentrator is a good alternative for the extraction process, however it has some limitations, such as the dependence on temperature and solar radiation and the large amount of solvent it uses.

**Keywords:** Solar concentrator; Extraction; Ultrasound.

### **Resumen**

El aceite extraído de la pulpa de pequi abarca beneficios en varias áreas, desde el campo médico hasta la producción de biodiesel, además de ser rico en carotenoides. El objetivo del trabajo fue comparar diferentes métodos de extracción de petróleo de la pulpa de pequi, y el estudio de la viabilidad de un concentrador solar como alternativa. Para la extracción, se utilizaron un dispositivo Soxhlet, un ultrasonido y un concentrador solar biangular de doce lados. La muestra de pulpa de pequi se secó y trituró previamente para optimizar el proceso de extracción. Los solventes utilizados fueron etanol y hexano. Cuando la muestra se dejó en un horno a 60°C durante 16 horas para realizar su secado, se obtuvo un mejor rendimiento de extracción. El método que obtuvo el mejor rendimiento del aceite

extraído fue Soxhlet utilizando hexano como disolvente de extracción (59,96%). El hexano demostró ser un solvente más adecuado que el etanol. Se concluyó en el experimento que el concentrador solar es una buena alternativa para el proceso de extracción, sin embargo, tiene algunas limitaciones, como la dependencia de la temperatura y la radiación solar y la gran cantidad de solvente que utiliza.

**Palabras clave:** Concentrador solar; Extracción; Ultrasonido.

## 1. Introdução

O pequi (*Caryocar brasiliense*) é um fruto típico do cerrado brasileiro, amplamente utilizado na culinária das regiões Centro-Oeste, Nordeste e norte de Minas Gerais. O pequi é um fruto sazonal com safra nos meses entre novembro e fevereiro, e é possível realizar a extração de um óleo a partir da sua polpa, conhecido como azeite de pequi (Rodrigues, 2017; Lemes, et al., 2017).

O óleo do pequi vem sendo estudado devido a suas diversas utilidades. Na indústria cosmética, é utilizado na fabricação de sabonetes e cremes para a pele (Silva, 1994; Pessoa, 2013). Devido à presença de compostos bioativos, dentre estes os carotenoides, o óleo de pequi tem sido utilizado na área medicinal (Rodrigues, 2017). Os carotenoides possuem importantes funções biológicas para o ser humano. A substância atua na prevenção de câncer e da fotossensibilidade em doenças de pele, na resposta imunológica a determinados tipos de infecções, nas propriedades do envelhecimento e na inibição de mucosas contra úlceras gástricas (Aquino, 2007). Além disso, estes compostos podem possuir atividade provitamina A e apresentam capacidade antioxidante, sendo utilizado contra bronquites, gripes, resfriados e no controle de tumores (Rodrigues, 2017; Ferreira, et al., 2015). Por apresentar ação antioxidante, o que diminui os danos oxidativos, também pode ser utilizado para retardar o envelhecimento precoce das células e evitar o desenvolvimento das doenças neurodegenerativas (Lemes, et al., 2017). Na produção de biodiesel, o óleo se mostra favorável, já que chega a ser 4% mais econômico no consumo e 30% menos poluente (Petillo, 2004).

Para aumentar o rendimento do processo de extração o material deve passar por uma secagem. Durante o processo, ocorre a ruptura das paredes celulares, facilitando o contato do solvente com o soluto. No processo de secagem a temperatura é uma variável importante, podendo afetar as propriedades do óleo (Guimarães, et al., 2020). A secagem pode ser realizada em estufas ou como o auxílio da energia solar. Outro fator que otimiza o processo de extração é a moagem da amostra, que gera uma área superficial de contato maior entre o

material e solvente (Bontempo, et al., 2020).

A extração por Soxhlet é o principal método utilizado como referência para comparação com outros métodos. O processo se baseia na reutilização do solvente por meio de refluxo em um processo intermitente, facilitando a transferência do óleo da amostra para o solvente. O método foi criado para a extração de lipídeos que são insolúveis em água, porém solúveis em compostos orgânicos. O processo não é seletivo, a natureza do solvente e a temperatura são os responsáveis pelo poder de dissolução (Melecchi, 2005).

Outro processo de extração é com o uso de ultrassom, que baseia-se na utilização da energia gerada por ondas sonoras que possuem uma frequência na faixa de 20 a 100kHz. Essa frequência cria uma variação na pressão do líquido, gerando cavitação e micro fluxos, e alterações físicas, como a ruptura dos sólidos (Luque-Garcia & De Castro, 2003). As bolhas geradas podem se chocar de forma intensa e gerar pressão local causando a ruptura dos tecidos, favorecendo a liberação de substâncias intracelulares no solvente (Goula, 2013). O método já foi utilizado e apresentou resultados satisfatórios na extração de óleo de castanha-do-brasil (Schons, et al., 2017) e de semente de uva (Bruni, et al., 2014).

A extração pode ocorrer com a ajuda de um concentrador solar, que é um equipamento que tem como objetivo concentrar a energia solar, convertendo essa energia em energia térmica. Esta alternativa tem como principal vantagem a possibilidade do uso da energia solar, uma fonte totalmente limpa, renovável e sustentável. O uso da energia solar no Brasil já é bastante difundido embora não representa a principal fonte energia. São encontrados alguns trabalhos que aplicam energia solar para diversas operações da indústria, tais como aquecimento de água (Fonseca, et al., 2018; Silva & Sousa, 2020); para tratamento de efluentes (Terra et al., 2020), processos de destilação da água (Tavares & Sousa, 2019; Araújo & Vasconcelos, 2019), destilação solar de álcool (Silva, et al., 2019), secagem solar (Stoppe, et al., 2020) e na extração de óleos vegetais (Tavares, et al., 2019), dentre outras operações.

Desta forma, este trabalho tem como objetivo comparar o rendimento de extração do método que utiliza o concentrador solar para aquecer o solvente com outros métodos convencionais, como o Soxhlet e a extração assistida por ultrassom.

## **2. Metodologia**

A seguir são mostrados os materiais utilizados e a metodologia aplicada para o estudo da extração do óleo de pequi utilizando diferentes métodos, como um aparelho Soxhlet, um ultrassom e um concentrador solar biangular de doze lados.

## **2.1. Tratamento e amostragem**

Foram selecionadas polpas de pequi em conserva em vinagre e sal da marca Tempero da Roça. O material foi cortado em lascas com área superficial média de 3,904 cm<sup>2</sup>. A medida do material foi realizada com o auxílio do aplicativo ImageJ. Em seguida, congelou-se o material até o momento da utilização do mesmo na etapa de extração.

Com o objetivo de comparar a influência da secagem no rendimento do óleo extraído, foram realizados dois testes diferentes. O primeiro consistia na secagem do material em estufa à 40°C por 16 horas. Já no segundo a secagem foi realizada na temperatura de 60°C pelas mesmas 16 horas. Os dois testes foram realizados em duplicata.

A umidade do material foi calculada pela equação 1 e é representada em porcentagem, em que  $U$  é a umidade do material,  $M_i$  é a massa inicial da amostra e  $M_f$  representa a massa final da amostra.

$$U = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100\% \quad (1)$$

Após a secagem da polpa, foi utilizado um mini processador do modelo Mondial Premium para a moagem do mesmo durante dois minutos. Com o auxílio do ImageJ foi determinada o tamanho médio das partículas submetidas para a extração. Os solventes extratores utilizados no experimento foram o hexano e o álcool etílico (etanol).

## **2.2. Extração Soxhlet**

Para a extração Soxhlet foi utilizado um extrator de óleos e graxas Marconi MA 491 de 220V e 60Hz operando a 900W. O extrator contém uma câmara de extração, um condensador, um recipiente de borosilicato e uma chapa metálica. O procedimento de extração de óleos foi realizado através do método Soxhlet, seguindo os procedimentos descritos nas Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008).

O primeiro passo foi a pesagem da amostra previamente processada e secada, inserindo-a em um filtro de papel. O filtro com a amostra, foi colocado na região central da câmara de extração, que fica suspensa acima do recipiente de borosilicato e abaixo do condensador. No recipiente é adicionado 100 ml do solvente extrator. O fluido refrigerante utilizado no condensador, localizado na parte superior do aparato, foi a água. O aquecimento

do recipiente é realizado através de blocos de alumínio fundido, com resistências blindadas em cerâmica infravermelha.

Quando se inicia o processo de aquecimento, o solvente começa a evaporar em direção ao condensador. O vapor condensado é direcionado para o material a ser extraído, e o extrato é armazenado no recipiente de borosilicato junto com o solvente extrator. Como o aparelho não possuía termômetros para a medição da temperatura do solvente, admitiu-se que o processo ocorreu na temperatura de ebulição do solvente utilizado. O experimento foi realizado por duas horas. Com o fim do processo, a mistura solvente/extrato foi separada com o auxílio de uma estufa. Após a separação, realizou-se a pesagem do conjunto recipiente de borosilicato mais o extrato, descontando a massa do recipiente, com objetivo de quantificar a massa e óleo extraído. O experimento foi realizado em duplicata. O rendimento foi calculado de acordo com a equação 2, em que  $R$  é o rendimento,  $M_o$  é a massa de óleo extraído e  $M_i$  é a massa de polpa de pequi alimentada no início do processo.

$$R = \frac{M_o}{M_i} \times 100\% \quad (2)$$

### **2.3. Extração utilizando ultrassom**

Na extração assistida por ultrassom, foi utilizado uma cuba de ultrassom Cristófoli de 220 V operando com potência de 170 W. A cuba é confeccionada em aço inoxidável com capacidade útil de dois litros e a frequência ultrassônica é de 42 kHz.

Na cuba é adicionada água por onde as ondas ultrassônicas se propagam. Foi pesado em torno de 6 gramas da polpa processada, colocando-a em um béquer de 250 ml previamente pesado, onde é adicionado o solvente extrator. O béquer é colocado na cuba. A mistura solvente mais polpa é agitada por um agitador mecânico Fisatom modelo 711 de 115 V operando com uma potência de 50 W. Como não houve aquecimento do sistema, a temperatura de extração foi a ambiente, não ocorrendo perda de solvente. O aparato experimental completo é representado pela Figura 1. A extração ocorreu por duas horas.

Após o final da extração, foi realizado uma filtração para separar a torta da mistura solvente mais extrato. Essa mistura filtrada, foi colocada em estufa com objetivo de separar o solvente do extrato. O conjunto béquer e extrato foi pesado e descontado o peso do béquer, determinado assim, a massa do óleo de pequi extraído. O rendimento é calculado com auxílio da equação 1.

**Figura 1.** Sistema de ultrassom com um agitador mecânico.



Fonte: do autor.

Os solventes extratores empregados no processo foram o hexano e o álcool etílico. O experimento foi realizado em duplicata.

#### ***2.4. Extração com o concentrador solar***

O experimento foi realizado entre às 10 horas e 15 horas, horários de maiores incidências solares. O funcionamento do concentrador solar é baseado nas leis de refração e reflexão de espelhos, os quais direcionam a luz para um foco pontual (Urias, et al., 2014). O concentrador utilizado no trabalho foi o biangular de doze lados e uma foto do equipamento é mostrada na Figura 2.

O aparelho consiste de doze placas de aço galvanizado que são unidas por suas abas externas por soldagem formando uma geometria próxima de uma parábola. As placas são revestidas com papel alumínio, o material refletor. A estrutura de sustentação possui suportes para os galões que armazenam o solvente e o extrato e um outro suporte para a bomba peristáltica. O concentrador é acoplado numa haste que possui um eixo móvel, permitindo o deslocamento no sentido Leste-Oeste para ajustes de focos que são necessários (Silva, 2018).

O leito do concentrador é feito de cobre e possui formato cilíndrico com 16 cm de comprimento e 5 cm de diâmetro (Tavares & Santos, 2016). O leito tem a função de tubo absorvedor e é inserido no centro do concentrador. O leito possui dois ductos menores que

realizam tanto a entrada do solvente, como a saída da mistura solvente e extrato, ambas são conduzidas por mangueiras que ligam os ductos com os galões de armazenamento. A alimentação é feita pela parte superior com o auxílio de uma bomba peristáltica e a descarga na parte inferior. No ducto de saída, é inserido uma tela fina que impede a saída de partículas sólidas do material a ser extraído (Silva, 2018).

**Figura 2.** O concentrador solar.



Fonte: do autor.

Para a realização do efeito estufa, otimizando o sistema, é acrescentado um invólucro transparente de vidro ao redor do leito, com a finalidade de proteger o leito de eventuais perdas de calor por convecção, como a ação do vento (Silva, 2018).

A polpa do pequi previamente secada e processada foi inserida no interior do leito de cobre. O solvente extrator foi o etanol oriundo de posto de gasolina e utilizou-se uma bomba peristáltica, com o objetivo de introduzir o solvente no leito. A vazão escolhida de bombeamento do solvente foi de 25 mililitros por minuto, devido a mesma apresentar um rendimento satisfatório no processo de extração (Silva, 2018). Como não existe refluxo, foram utilizados aproximadamente 3 litros de etanol. Por questões ambientais, o hexano não foi utilizado nessa parte do experimento.

O solvente extrator é aquecido por energia solar. Essa energia é refletida pelas lâminas de papel alumínio em direção ao foco do concentrador solar, onde está o leito de cobre que absorve esse calor. O extrato foi recolhido em béqueres com capacidade de 1 litro. A temperatura do extrato foi determinada. O processo de extração ocorreu por duas horas.

Diferentemente dos outros dois métodos, que consistia em colocar em estufa a mistura solvente mais extrato, nesse caso, foi a mistura solvente mais torta que foi colocada para a secagem e separação em estufa. O rendimento do método foi calculado pela equação 3, onde  $R$  é o rendimento,  $M_i$  é a massa inicial de alimentação e  $M_t$  é a massa fina da torta após a realização do processo de extração. É recomendado uma alta porcentagem de óleo no material para a utilização eficiente do método.

$$R = \frac{M_i - M_t}{M_i} \times 100\% \quad (3)$$

### **2.5. Análise do consumo de energia de cada método**

Por fim de comparação, foi realizado um estudo do custo financeiro de cada método com o objetivo de avaliar o poder econômico do concentrador solar, já que esse exige uma quantidade maior de solvente no processo. Utilizou-se a equação 4 para a determinação do consumo energético de cada método, onde  $C$  é o consumo em kWh,  $P$  é a potência do equipamento em W e  $t$  é o tempo de funcionamento em horas.

$$C = P \times t \quad (4)$$

A temperatura da estufa no processo de separação do extrato do solvente, foi de 60°C quando o solvente era o hexano e 70°C para o etanol. A mistura foi deixada na estufa por aproximadamente 24 horas.

## **3. Resultados e Discussão**

Os resultados da secagem estão representados na Tabela 1, mostrando os valores médios de umidade final e o rendimento de óleo extraído. A extração nesse momento foi realizada em Soxhlet utilizando apenas o hexano com solvente extrator. Os processos de secagem a 40°C e 60°C estão representados por T1 e T2 respectivamente.

**Tabela 1.** Estudo do efeito da temperatura no processo de secagem.

Método	Temperatura (°C)	Umidade removida (%)	Teor de óleo (%)
T1	40	39,5	34,74
T2	60	69,7	59,94

Fonte: do autor.

Com os dados obtidos escolheu-se o tratamento T2 para o restante do projeto, baseado na maior retirada de umidade da polpa de pequi e principalmente no rendimento de óleo extraído do material. Admitiu-se que a relação de teor de óleo extraído e a temperatura de secagem seguiria a mesma tendência nos diferentes métodos de extração desse experimento. Aquino et al. (2009) chegou a resultados semelhantes para a polpa do pequi, obtendo um rendimento maior quando a secagem foi realizada a 60°C. Pelo fato dos carotenoides sofrerem alterações físico-químicas em temperaturas elevadas, optou-se por não secar a polpa do pequi em temperaturas acima de 60°C.

Na extração por Soxhlet, o tamanho médio das partículas após o processamento da mesma foi 0,231 cm<sup>2</sup>. Na Tabela 2 encontram-se os valores da porcentagem do teor de óleo extraído, rendimento, utilizando o hexano e álcool etílico como solventes extratores.

**Tabela 2.** Dados obtidos pela extração com Soxhlet

Amostra	Solvente	Massa da amostra (g)	Óleo extraído (g)	Teor de óleo (%)
1	Hexano	5,80	3,46	59,65
2	Hexano	5,84	3,52	60,27
3	Etanol	6,09	2,19	35,96
4	Etanol	6,92	2,33	33,67

Fonte: do autor.

Pelo método de extração por Soxhlet, o hexano mostrou-se um solvente mais adequado para o processo, possuindo um teor médio de óleo extraído de 59,96% enquanto que a extração com etanol obteve um valor médio de 34,82%.

O tamanho médio das partículas na extração assistida por ultrassom foi de 0,219 cm<sup>2</sup>. A Tabela 3 representa os dados da porcentagem de teor de óleo extraído com o ultrassom

utilizando os mesmos solventes extratores do Soxhlet. A temperatura do extrato obteve uma média de 29°C, já que não foi realizado um aquecimento do mesmo.

**Tabela 3.** Dados obtidos pela extração assistida por ultrassom.

Amostra	Solvente	Massa da amostra (g)	Óleo extraído (g)	Teor de óleo (%)
1	Hexano	6,45	3,18	49,30
2	Hexano	5,76	3,03	52,60
3	Etanol	6,12	2,59	42,32
4	Etanol	5,98	2,46	41,14

Fonte: do autor.

Na extração assistida por ultrassom, o hexano também se mostrou um solvente melhor adequado para a extração do óleo de pequi, com teor de óleo extraído médio de 50,95%. No entanto, a porcentagem caiu em cerca de 9% em relação ao método do Soxhlet.

Quando utilizado o etanol, o rendimento continuou menor em relação ao hexano, atingindo um teor médio de óleo de 41,73%. Quando se comparou os dois métodos, com o uso do etanol, notou-se uma melhora percentual no teor de óleo extraído de aproximadamente 7% na extração assistida por ultrassom em relação ao Soxhlet.

O tamanho médio das partículas utilizadas no método do concentrador solar foi de 0,227 cm<sup>2</sup>. A Tabela 4 ilustra os dados dos testes com o concentrador. Diferente dos outros métodos, neste teste a massa da torta que foi utilizada, e não a de óleo extraído. A tabela também contém dados das temperaturas do extrato e do interior do leite no final do processo. O etanol foi o único solvente extrator utilizado nessa parte.

**Tabela 4.** Dados obtidos com o concentrador solar.

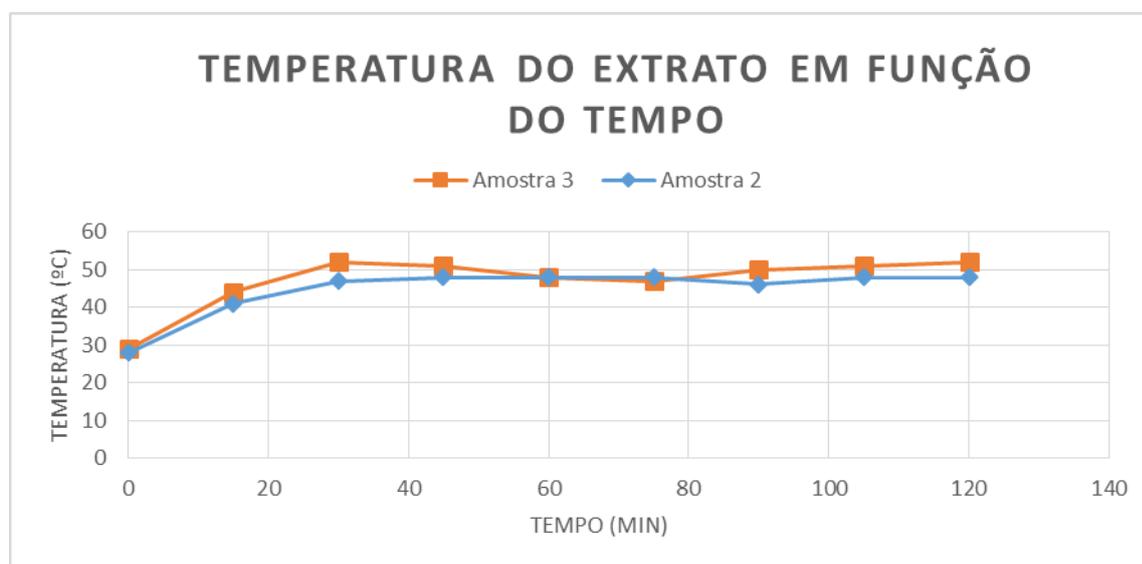
Amostra	Massa da amostra (g)	Massa da torta após a extração (g)	Temperatura do extrato (°C)	Temperatura do leite (°C)	Teor de óleo (%)
1	9,61	4,93	59	81	48,70
2	11,21	6,70	48	69	40,23
3	10,84	6,01	52	74	44,56

Fonte: do autor.

A extração com etanol mostrou-se eficiente utilizando o concentrador solar, com teor médio de óleo extraído de 44,50%. Observou-se também uma influência de proporcionalidade da temperatura no rendimento do processo, criando uma dependência com o clima local.

Nos experimentos realizados com as amostras 2 e 3, estudou-se a relação da temperatura do extrato em função do tempo. Mediu-se a temperatura em intervalos de 15 minutos, sendo a primeira medição ao início do processo. A **Figura 3** apresenta um gráfico com os resultados desse estudo.

**Figura 3.** Gráfico apresentando a temperatura em função do tempo.



Fonte: do autor.

Como pode ser observado no gráfico, levou-se um tempo de aproximadamente 30 minutos para a estabilização da temperatura. Como o teste foi realizado em um dia parcialmente nublado, e a incidência solar ter sofrido interferências esporádicas, é justificável o decaimento da temperatura em certos períodos de tempo.

A Tabela 5 lista os valores de teor médio de óleo extraído para os três métodos com os diferentes solventes extratores. De acordo com os dados obtidos, a extração ocorre de forma mais eficiente utilizando o Soxhlet com hexano como solvente extrator, porém esse método apresenta um rendimento baixo quando o etanol é empregado como solvente.

De Deus (2008) chegou a conclusões semelhantes, porém o rendimento de extração do óleo da polpa do pequi com hexano utilizando o Soxhlet foi de 36,05% e um baixo rendimento utilizando o etanol, não citado pela autora. Pessoa (2013) obteve rendimento com hexano de 49,58%, no entanto o rendimento obtido utilizando o etanol foi de 52,78%

utilizando o mesmo método (Soxhlet). Uma explicação para essa variação é a diferença apresentada na estrutura do fruto de diferentes regiões (Pozo, 1997). De acordo com o trabalho apresentado por Vera, et al. (2007), que avaliou características físicas e químicas de frutos de pequi, oriundos de diferentes regiões, houve diferença significativa entre os frutos, desde massa e dimensão dos frutos até quantidade de polpa e amêndoas, além de diferentes teores de proteína e extrato obtidos.

**Tabela 5.** Comparação do teor de óleo extraído pelos diferentes métodos.

Método	Solvente	Teor de óleo (%)
Soxhlet	Hexano	59,96
	Etanol	34,82
Ultrassom	Hexano	50,95
	Etanol	41,73
Concentrador	Etanol	44,50

Fonte: do autor.

Pessoa (2013) também estudou a extração do óleo do pequi assistida por ultrassom, porém sem a agitação do sistema. O rendimento obtido com hexano foi de 38,22% com o hexano e 31,21% com o etanol.

A análise do consumo energético foi calculada utilizando a equação 4. O tempo de extração foi o mesmo para todos os experimentos, 2 horas. A **Tabela 6** apresenta o consumo para cada um dos métodos.

**Tabela 6.** Comparação do consumo energético nos diferentes métodos.

Método	Potência total dos equipamentos (W)	Consumo energético (kWh)
Soxhlet	900	1,80
Ultrassom	220	0,44
Concentrador solar	5	0,01

Fonte: do autor.

Observa-se que apesar do concentrador solar gastar maior quantidade de solvente, o seu consumo energético é consideravelmente menor em relação aos outros métodos.

Na caracterização da polpa do pequi, Aquino, et al. (2009), ao estudar a influência da

secagem do pequi na qualidade do azeite extraído, em base seca, encontraram teores de lipídios na polpa variando de 39,1 a 59,4%. No presente experimento, o método que mais chegou próximo da extração máxima foi o do Soxhlet quando utilizado o hexano como solvente extrator.

#### 4. Considerações Finais

De acordo com os dados de secagem coletados, conclui-se que a secagem realizada a 60°C por 16 horas é mais efetiva tanto na retirada de umidade quanto no rendimento do teor de óleo extraído da polpa do pequi. Uma análise físico-química seria necessária para a determinação da relação do processo de secagem com o teor de carotenoides do óleo extraído.

O solvente que possui maior rendimento de extração é o hexano, tanto no método do Soxhlet quanto no do ultrassom. Quando utilizado o etanol, o ultrassom mostra-se melhor adequado do que o Soxhlet. O concentrador solar é eficiente na extração utilizando o etanol como solvente, obtendo o maior teor médio de óleo extraído entre os métodos. Porém a sua dependência da temperatura local e da radiação dos raios solares é um fator que limita a técnica.

Destaca-se que um fator negativo relacionado ao experimento com concentrador solar, é a grande quantidade de solvente que o método exige. Apesar disso, seu gasto energético é mínimo em comparação aos demais tipos de extrações. Como sugestão para a otimização do método, é sugerido a construção de um sistema de refluxo para minimizar a utilização de solvente extrator, resultando em um método mais econômico e ambientalmente mais limpo, viabilizando a utilização de pequenas quantidades de hexano na extração.

#### Referências

Aquino, L. P.; Ferrua, F. Q.; Borges, S. V.; Antoniassi, R.; Correa, J. L. G. & Cirillo, M. A. (2009). *Influência da secagem do pequi (Caryocar brasiliense Camb.) na qualidade do óleo extraído*. Ciência e Tecnologia de Alimentos. v. 29, n. 2, p. 354-357.

Aquino, L. P. (2007). *Extração do óleo da polpa de pequi (Caryocar brasiliense): Influência das variáveis operacionais*. 107 p. Dissertação de mestrado. Universidade de Lavras, Lavras.

Araújo, V. P. & Vasconcelos, A.K.P. (2019). *Construction of a Solar Distiller as an Alternative for the Development of Practical Classes in Teaching Chemistry*. Research, Society and Development, 8(7), e17871115.

Bontempo, L., Castejon, L., & Santos, K. (2020). *Drying of Tangerine peel: kinetics and performance of a convective solar dryer*. Research, Society and Development, 9(6), e44963458. doi:<http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i6.3458>.

Bruni, G. P.; Machado, H. B.; Morais, M. M.; Ehlers, R. & Crexi, V. T. (2014). *Estudo do método de ultrassom para a extração de óleo de sementes de uva provenientes de rejeitos do processo vinícola*. In: Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química - COBEQ 2014, São Paulo: Blucher, p. 3859-3866. ISSN 2359-1757, DOI 10.5151/chemeng-cobeq2014-0724-24287-181250.

De Deus, T. N. (2008). *Extração e caracterização de óleo de pequi (Caryocar brasiliense Camb.) para o uso sustentável em formulações cosméticas óleo/água (o/a)*. 75 p. Dissertação de Mestrado. Universidade Católica de Goiás, Goiânia.

Ferreira, A.L.S., Batista, C.A.S. & Pasa, M.C. (2015). *Uso de Plantas Medicinais na Comunidade Quilombola Mata Cavalo em Nossa Senhora do Livramento – MT, Brasil*. Biodiversidade, 14 (N1), pág. 151.

Fonseca, J.P.S.M., Ferrari, E.M.M. & Cardose, R.B. (2018). *Analysis of the energy and economic impacts of the Brazilian energy labeling program (PBE/Inmetro) on solar thermal collectors in Brazil*. Research, Society and Development, 7(1), 1-17, e1071180.

Goula, A. M. (2013). *Ultrasoundassisted extraction of pomegranate seed oil - Kinetic modeling*. J. Food Eng. v. 117, p. 492-498.

Guimarães, B., Silva, J., Santos, K., & Vieira Neto, J. (2020). *Sequencing of unit operations for integral and sustainable peanut processing*. Research, Society and Development, 9(6), e67963449. doi:<http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i6.3449>.

Instituto Adolfo Lutz. (2008). *Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz*. v. 1: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos, 4. ed. São Paulo: IMESP.

Lemes, E. O., Fernandes, M.M.C., Rosa, V.P. & Nascimento, A.H. (2017). *Levantamento da Utilização do Pequi (Caryocar brasiliense camb.) como Agente Antioxidante na Prevenção de Doenças Neurodegenerativas*. Uniciências, v. 21, p. 110-114.

Luque-García, J.; De Castro, L. D. (2003). *Ultrasound: a powerful tool for leaching*. TrAC Trends in Analytical Chemistry. v. 22, n. 1, p. 41–47.

Melecchi, M. I. S. (2005). *Caracterização química de extratos de Hibiscus tiliaceus L: Estudo comparativo de métodos de extração*. Porto Alegre: UFRGS. Tese (Doutorado em Química), Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Pessoa, A. S. (2013). *Extração do óleo da polpa de pequi (Caryocar coriaceum) utilizando propano subcrítico e cossolventes*. 105 p. Dissertação em Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

Petillo, A. (2004). *Pequi no tanque, pé na estrada*. Revista Super Interessante, n. 205, p. 34.

Pozo, O. V. C. (1997). *O pequi (Caryocar brasiliense): uma alternativa para o desenvolvimento sustentável do cerrado no norte de Minas Gerais*. 100f. dissertação de Mestrado. Universidade federal de Lavras, Lavras.

Rodrigues, M. L. (2017). *Avaliação das características físico-químicas e dos compostos bioativos do azeite de pequi sob diferentes condições de aquecimento*. Acesso em: 06 maio 2020, disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/150139>.

Schons, J. I.; Fiori, K. P.; Ribeiro, E. B.; Andrighetti, C. R.; Nogueira, R. & Valladão, D. M. S. (2017). *Extração assistida por ultrassom e caracterização do óleo da castanha-do-brasil (Bertholletia excelsa H.B.K.)*. Interciência, v.42, n. 9, p. 586-590.

Silva, E. C. (1994). *Desenvolvimento de emulsões cosméticas utilizando o óleo do pequi (Caryocar brasiliense Camb.)*. São Paulo: FCF-USP. 120 p. Dissertação de Mestrado.

Silva, L. R. C. (2018). *Uso de energia solar nos processos de lixiviação e destilação aplicados à produção sustentável de óleos vegetais*. Uberaba: UFTM, 162 p. Dissertação em Mestrado.

Silva, L.R.C.; Ribeiro, M.B.M.; Oliveira, A.D.; Silva, C.S.; Faria, E.V. & Santos, K.G. (2019). *Destilação solar do solvente etanol proveniente da extração de óleo de coco*. Brazilian Journal of Development, 5, 28964-28982

Silva, S.T. & Sousa, N.G. (2020). *Auxiliary solar heating system: simulation and control*. Research, Society and Development, 9(3), e188932730.

Stoppe, A.C.R., Vieira Neto, J.L. & Santos, K.G. (2020). *Development of a fixed bed solar dryer: experimental study and CFD simulations*. Research, Society and Development, 9(3), e123932667.

Tavares, F. P. & Santos, K. G. (2016). *Projeto e construção de um Concentrador Solar Biangular de Doze Lados aplicado à extração sólido-líquido*. In: Congresso Brasileiro de Energia Solar, 6, Belo Horizonte.

Tavares, F. P., Silvério, B. C., Vieira Neto, J. L. & Santos, K. G. (2019). *Extração sustentável de óleo de pinhão manso com solvente aquecido por radiação solar*. Brazilian Journal of Development, 5, 28909-28925.

Tavares, S.R. & Sousa, N. G. (2019). *Sistema de aquecimento solar de água: simulação e análise*. Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação, 4(1), 15-31.

Terra, S.D.V., Goulart, B.V., Fagundes, P.M.L.L., Nadaleti, D.H.S. & Kondo, M.M. (2020). *Photodegradation of dipyrone by heterogeneous catalysis using TiO<sub>2</sub>/UV*. Research, Society and Development, 9(1), e73911646.

Urias, P. M.; Araújo, K. S.; Cunha, P. C. R. & Santos, K. G. (2014). *Concentrador solar biangular de doze lados: método alternativo para extração de óleo a partir da semente de*

*Pinhão Manso*. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 5, Belo Horizonte: IBEAS, p. 1-22.

Vera, R.; Souza, E. R. B.; Fernandes, E. P.; Naves, R. V.; Soares Júnior, M. S.; Caliari, M. & Ximenes, P. A. (2007). *Caracterização física e química de frutos do pequi (Caryocar brasiliense Camb.) oriundos de duas regiões no estado de Goiás, Brasil*. Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia, v.37, p.93-99.

#### **Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito**

Lucas Melgaço Silva Cunha – 40%

Ricardo Francisco Pires – 10%

Kássia Graciele dos Santos – 10%

Sandra Cristina Dantas – 40%