



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

MATHEUS BENJAMIM DE ALMEIDA DINIZ

**SECAGEM DE CAMARÃO UTILIZANDO SECADOR SOLAR DE
EXPOSIÇÃO DIRETA DE BAIXO CUSTO**

**NATAL – RN
2023**

MATHEUS BENJAMIM DE ALMEIDA DINIZ

SECAGEM DE CAMARÃO UTILIZANDO SECADOR SOLAR DE
EXPOSIÇÃO DIRETA DE BAIXO CUSTO

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
Sistema de Bibliotecas - SISBI
Catalogação de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Central Zila Mamede

Diniz, Matheus Benjamim de Almeida.
Secagem de camarão utilizando secador solar de exposição direta
de baixo custo / Matheus Benjamim de Almeida Diniz. - 2023.
36 f.: il.

Monografia (graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do
Norte, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Mecânica, Natal,
RN, 2023.

Orientação: Prof. Dr. Luiz Guilherme Meira de Souza.

1. Energia solar - Monografia. 2. Secador solar - Monografia.
3. Secagem de camarão - Monografia. I. Souza, Luiz Guilherme Meira
de. II. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 551.521.37

Monografia apresentada ao curso de graduação em Engenharia Mecânica, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel/Licenciado/Tecnólogo em Engenheiro Mecânico.

Aprovada em: __ 14 __ / __ 12 __ / __ 2023 __

BANCA EXAMINADORA

Prof(a). Dr. Luiz Guilherme Meira de Souza
Orientador
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Me. Aldo Paulino De Medeiros Junior
Membro interno
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Me. Josenilton Dos Santos Lopes
Membro externo
Universidade Federal de Uberlândia

Natal, 19 de Dezembro de 2023

AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho a todas àquelas pessoas que me incentivaram no curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), na qual passei por vários obstáculos e tive o privilégio de cursar em minha vida acadêmica.

Agradeço ao corpo docente e técnico do Laboratório de Máquinas Hidráulicas e Energia Solar (LMHES) da UFRN, em especial ao professor orientador Luiz Guilherme Meira de Souza, por orientar a conclusão desse trabalho acadêmico, direcionando ideias e agregando conhecimentos. E ao técnico Aldo pelo seu auxílio. Agradeço a sua paciência durante o processo.

Aos familiares que sempre torceram para que eu realizasse esse objetivo, em especial ao meu pai, que sempre ajudou e incentivou à conclusão desse curso.

Por fim, agradeço a todos os colegas de curso que participaram dos desafios proporcionados nessa jornada e a Universidade Federal do Rio Grande do Norte pela oportunidade.

RESUMO

O Nordeste Brasileiro é conhecido por seu potencial na área de energia solar térmica, de tal modo que o objetivo deste estudo foi evidenciar o funcionamento e o rendimento de um secador solar de exposição direta por meio da convecção natural, caracterizando a importância da secagem de alimentos para o aumento da sua conservação.

Os equipamentos foram dispostos em local de clima quente e com elevada irradiação solar, mais especificamente nas extremidades do Laboratório de Máquinas Hidráulicas e Energia Solar (LMHES) localizado na Universidade Federal do estado do Rio Grande do Norte (UFRN), situado em Natal, Rio Grande do Norte (RN) para a secagem de camarão.

A fabricação desses equipamentos foi realizada através de materiais recicláveis encontrados no LMHES, e, por meio da aquisição de materiais de baixo custo. As amostras de camarão foram distribuídas nos equipamentos tomando-se nota de suas respectivas massas e umidades, onde foram submetidas ao processo de secagem por um período de 5h (cinco horas) de secagem, demonstrando o comportamento físico das amostras nos secadores solares.

Em seguida, foram analisados os resultados por meio do produto final obtido, confirmando a eficiência do processo de perda de massa e umidade. Ao final do processo, as amostras de camarão desidratado apresentaram condições satisfatórias para consumo.

Os resultados desse trabalho demonstram a importância dessa tecnologia em regiões de clima tropical bem como para a população de baixa renda, em virtude do mecanismo de baixo custo.

Palavras-chave: Energia Solar. Secador Solar. Secagem de Camarão.

LISTA DE FIGURAS

1.– Processos de secagem solar.....	6
2. – Secador solar de convecção natural de Othiene.....	7
3. – Alimento escolhido para secagem.....	9
4 – Montagem do secador solar	10
5 – Secador em operação.....	11
6 – Termômetro.....	13
7 – Medidor de radiação.....	13
8 – Balança digital.....	13
9 – Anemômetro.....	13

LISTA DE GRÁFICOS

1 – Irradiância Solar durante a secagem	14
2 – Temperatura de entrada	15
3 – Temperatura de saída	16
4 – Perda de massa.....	18
5 – Perda percentual horária de massa	18

LISTA DE TABELAS

1 – Oferta de energia elétrica por fonte	2
2 – Irradiação solar global.....	4
3 – Porcentagem de massa de água	8
4 – Medidas superficiais de temperatura no secador	16
5 – Massa total do produto	20

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

Q_v - Vazão volumétrica

V - Velocidade do fluido

A - Área de escoamento

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
	2.1 Energias renováveis	2
	2.2 Energia solar	3
	2.3 Secagem de alimentos	5
	2.4 Secadores solares	5
	2.5 Fruto do mar a ser analisado	7
3	MATERIAIS E MÉTODOS	9
	3.1 Construção do secador	9
	3.2 Procedimento experimental	12
	3.3 Instrumentos utilizados	12
4	RESULTADOS	
	4.1 Irradiação solar	14
	4.2 Coleta de dados da temperatura	15
	4.3 Perda horária e total de massa	17
	4.4 Vazão volumétrica	19
	4.5 Eficiência	19
5	CONCLUSÃO	20
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21

1 – INTRODUÇÃO

Conforme levantamento conduzido pelas Nações Unidas em 2022, a população global atingiu a marca de 8 bilhões de habitantes (Gorvett, 2022). Esse crescimento populacional crescente torna cada vez mais desafiador a tarefa de produzir alimentos em quantidade suficiente para atender a toda a população mundial, intensificando o problema da escassez de terras disponíveis para a prática agrícola. Nesse contexto desafiador, alguns especialistas alertam que a produção global pode não ser o bastante para suprir as necessidades alimentares de toda a população mundial.

Embora o panorama global seja complicado, o Brasil se destaca como um dos países com maior potencial na produção de alimentos agrícolas, figurando entre os três maiores produtores de frutas do mundo. Apesar desse potencial, existe a necessidade incontestável de aumentar a produção de frutas e expandir as exportações. Contudo, é crucial também minimizar as perdas ao longo da cadeia de produção, armazenamento e exposição de alimentos.

Esse cenário é válido tanto internacionalmente quanto nacionalmente, destacando a urgência de implementar processos de produção simples e acessíveis, que proporcionem aos produtores, especialmente os de menor porte, tecnologias de baixo custo para prevenir as perdas de alimentos (SOUZA et al., 2010).

A utilização da energia solar para desidratar alimentos naturais, especialmente frutas, é essencial, não apenas por ser uma fonte de energia limpa, mas também devido ao seu considerável potencial no Brasil, especialmente na região Nordeste, onde os raios solares são intensos durante a maior parte do ano.

Dessa maneira, o propósito principal deste trabalho é apresentar o desempenho e a eficácia de um secador solar que utiliza a exposição direta e a convecção natural em uma região de clima tropical. O item selecionado para conduzir o experimento foi o camarão.

A eficácia do processo de secagem será avaliada e os resultados serão apresentados. Portanto, o principal objetivo do projeto foi atestar a eficiência de

um secador solar acessível, representando uma alternativa de energia limpa e facilmente disponível.

2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Energias Renováveis

As energias renováveis oferecem a substituição da energia não renovável, por uma fonte limpa e sustentável, sem prejudicar o crescimento econômico de determinada região. Essa abordagem surge como uma alternativa para impulsionar o desenvolvimento social, ambiental e econômico de forma integrada. Conforme mencionado por Villalva (2015, p. 12), fontes de energia consideradas renováveis são aquelas que não dependem de recursos reconhecidamente limitados e cujo uso não leva ao seu esgotamento.

Diversos elementos naturais, como ar, água e sol, podem ser aproveitados para gerar eletricidade de forma ambientalmente amigável, convertendo os movimentos naturais em tecnologias que produzem energia limpa. A Energia Solar térmica, chamada também de foto térmica, usa o calor do sol de forma direta para aquecer outro meio, por intermédio de coletores solares que captam e transferem o calor da radiação.

Os investimentos globais em energias renováveis tem aumentado significativamente, impulsionados por políticas de mobilização e pelo comprometimento de países com essa fonte de energia. A matriz energética brasileira para 2023 está detalhada na Tabela 1.

Tabela 2.1 Oferta interna de energia elétrica por fonte

Tipo	Oferta (%)
Hidrelétrica	61,90
Biomassa	8,20
Eólica	11,8
Solar	4,4
Carvão e derivados	1,2
Gás natural	6,1
Derivados do petróleo	4,7
Nuclear	2,1

Fonte: EPE, 2023.

Os dados da Tabela 1 representam o grande potencial do Brasil em relação as energias renováveis, na qual, a energia hidrelétrica (61,90%) é

predominante devido ao enorme potencial fluvial que o país detém com 12 bacias hidrográficas. No cenário global, o Brasil ocupa a sexta posição em energia eólica, com investimentos especialmente na região nordeste. Além da energia solar, que emerge como uma importante fonte de energia no país. Nos últimos anos, houve um crescimento expressivo, aproveitando os elevados índices de irradiação solar em grande parte do território brasileiro ao longo do ano.

Além do potencial territorial, considerando fatores como localização geográfica, potencial marítimo, clima, entre outros, a sociedade brasileira está aderindo a essa inovação com foco na sustentabilidade e na preservação ambiental.

Conforme Villalva (2015, p. 12) , os custos das fontes alternativas estão diminuindo com o aumento da escala de utilização, e o preço da energia elétrica gerada por elas em muitos países já se equipara ao das fontes tradicionais. Portanto, esse tipo de energia desempenha um papel fulcral no futuro da humanidade, dada sua elevada sustentabilidade nos âmbitos ambiental, social e econômico.

Com investimentos substanciais e uma extensa abordagem educacional junto à sociedade, a energia limpa está caminhando para a dominância.

2.2 Energia solar

Até o momento, a energia solar se destaca como a fonte de energia menos prejudicial ao meio ambiente. Atualmente, as aplicações mais comuns da energia solar incluem o aquecimento residencial passivo, utilizando energia térmica, e o fornecimento de energia elétrica para dispositivos remotos, através da tecnologia fotovoltaica.

Nesses sistemas, a energia radiante do Sol é convertida em calor em sistemas térmicos, enquanto os sistemas fotovoltaicos transformam diretamente a incidência solar em energia elétrica. O maior desafio para os projetistas reside na captura e armazenamento eficientes dessa energia, demandando um estudo aprofundado que leve em consideração a previsibilidade da radiação solar.

Conforme destacado por Lopez (2012), a energia térmica resultante da radiação solar pode ser aplicada para elevar a temperatura em ambientes e fluidos, além de gerar potência elétrica ou mecânica. Essa energia térmica pode ser convertida diretamente em eletricidade por meio de efeitos termoelétricos ou fotovoltaicos em materiais específicos.

Segundo Pereira et al. (2017), o Brasil recebe anualmente quantidades de radiação solar variando de 4500 Wh/m² a 5500 Wh/m², como evidenciado na Tabela 2. O país se beneficia de sua vasta extensão territorial e clima tropical, o que o coloca em uma posição vantajosa para aproveitar esse tipo de energia. Isso se deve ao considerável potencial que o Brasil possui tanto para a geração solar centralizada quanto para a distribuída.

Tabela 2 - Irradiação solar global, média anual do Brasil de 2005 até 2015

Regiões do Brasil	Irradiação (Wh/m²)
Nordeste	5500
Centro-Oeste	5100
Sudeste	5000
Norte	4600
Sul	4500

Fonte: Pereira et. al (2007).

Conforme apresentado na tabela 2, a região Nordeste do Brasil é destacada pelo seu notável potencial solar, registrando a mais alta incidência de irradiação. A Região Nordeste se destaca por sua menor variabilidade climática ao longo do ano, caracterizada por longos períodos de sol, especialmente no semiárido, onde a quantidade de chuvas é limitada e a cobertura de nuvens é reduzida.

Essa característica faz com que essa região seja naturalmente propícia para receber investimentos significativos na geração elétrica por meio da referida fonte energética. Com o apoio da sociedade e a implementação de políticas públicas direcionadas a essa modalidade, a energia solar pode se tornar altamente eficaz, promovendo a sua sustentabilidade.

2.3 Secagem de alimentos

O processo de remoção da água de alimentos por meio da exposição à radiação solar, conhecido como secagem ou desidratação de alimentos, tem raízes na prática utilizada por povos originários para conservar sementes de plantas, fontes alimentares que podiam ser preservadas por mais tempo quando expostas ao sol. Posteriormente, essa técnica foi ampliada para incluir a secagem de outras iguarias, como peixe, carne, grãos, entre outros (ALMEIDA; LIMA; SOUZA, 2016).

Conforme destacado por Feiden et al. (2015), o propósito da secagem é reduzir a quantidade de água presente nos alimentos, interrompendo o processo de deterioração biológica e prevenindo a proliferação de bactérias e a oxidação. Dessa forma, são preservados aspectos essenciais, como aroma, sabor, textura, cor e componentes nutricionais. Os sistemas de secagem solar empregados para frutas destacam-se por seu baixo custo operacional e de manutenção dos equipamentos.

De acordo com Celestino (2010), as frutas, de maneira análoga, são consideradas secas quando sua umidade final está na faixa de 15% a 20%. Fiorezze (2004) ressalta que a secagem não se restringe apenas à conservação de alimentos, mas também é utilizada na produção de produtos diferenciados, como massas, biscoitos, sorvetes, entre outros. Embora ainda pouco explorado pelos empresários brasileiros, esse mercado está em ascensão e apresenta considerável potencial de crescimento.

O pequeno produtor rural também pode se beneficiar desse método para prolongar a conservação de alimentos, reduzindo as perdas no estoque após a colheita e, ao mesmo tempo, aumentando o valor agregado dos produtos. Isso é de grande importância tanto para o setor socioeconômico quanto para o meio ambiente.

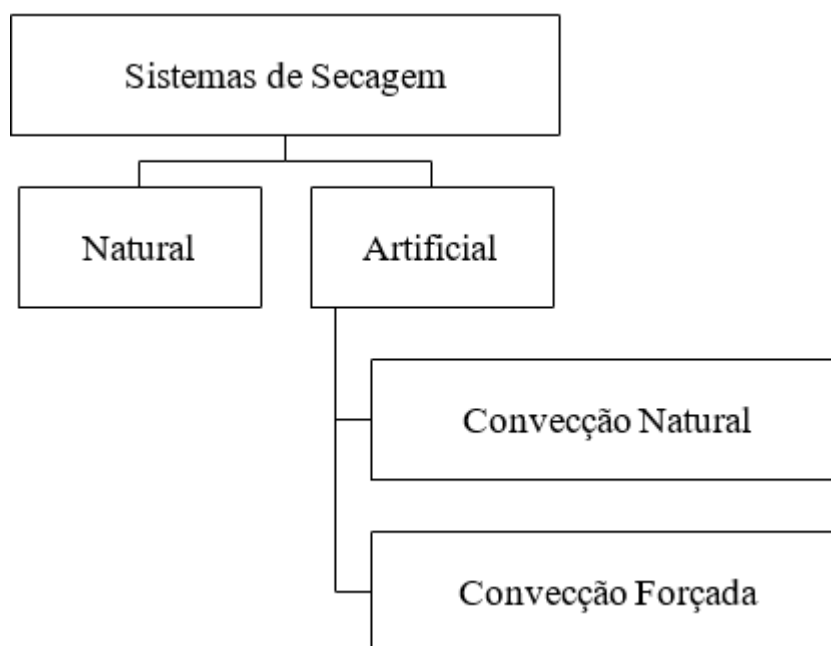
2.4 Secadores solares

Por muitos anos, a necessidade de preservar alimentos para consumo posterior impulsionou sociedades humanas a buscar técnicas que retardassem a deterioração dos alimentos armazenados. O processo inicial de secagem de alimentos era bastante rudimentar, mas ao longo do tempo, foi refinado com base em parâmetros científicos e econômicos, visando aprimorar o controle dos padrões de qualidade, higiene e limpeza.

Nesse cenário, encontramos os secadores solares equipados com sistemas de energia solar ativa, os quais captam a energia solar e a convertem em energia térmica com o objetivo de fornecer calor ao alimento contido no secador. O seu funcionamento se dá por meio da exposição aos raios solares, onde o fluxo de ar aumenta a temperatura e percorre natural ou forçadamente toda a área interna do equipamento.

O material exposto, ao entrar em contato com o ar aquecido, perde umidade, resultando na remoção do vapor de água presente em sua composição. Esse aumento de temperatura interna do ar no interior do secador ocorre devido ao efeito estufa gerado durante o processo (BEZERRA, 2001). A figura abaixo mostra os principais tipos de secagem.

Figura 1 – Processos de secagem solar



Fonte: Elaborada pelo autor.

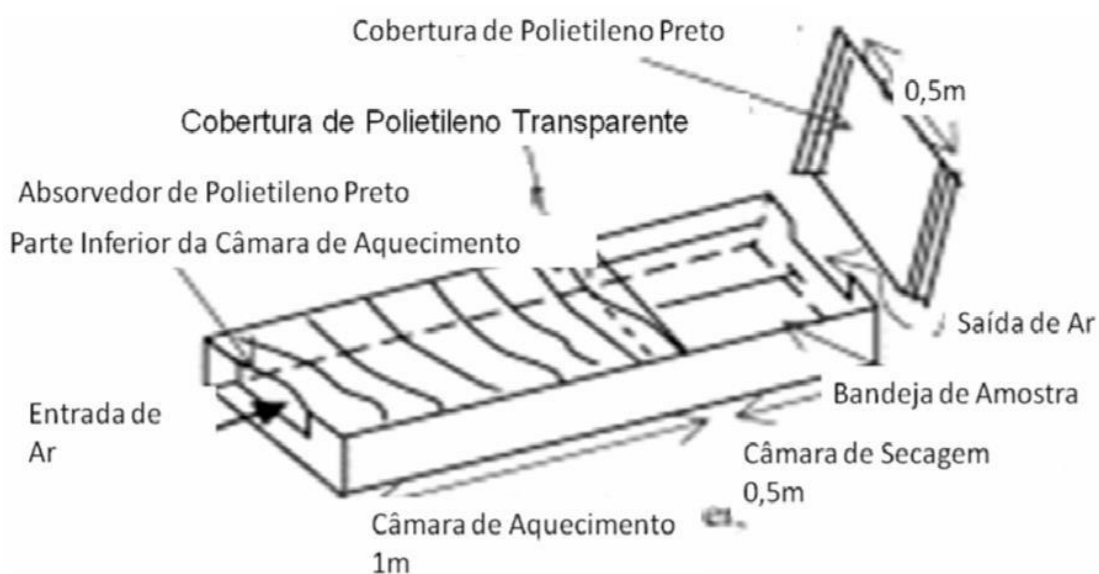
O foco deste trabalho é um secador solar de exposição direta que funciona por meio de convecção natural, sendo seu objeto de estudo.

2.4.1 Secadores de convecção natural

Esse secador utiliza o princípio da convecção natural, onde o ar, aquecido na parte inferior, adquire menor densidade e, portanto, ascende impulsionado pela corrente atmosférica, promovendo a secagem do produto devido às variações de temperatura. O fluxo de ar ocorre da testa norte para a testa sul

Em termos gerais, esse processo consiste na exposição direta do alimento ao sol, seja em um piso especialmente projetado para reter calor, promovendo a perda de água pelo aquecimento do piso e superfície próxima, ou em galpões equipados com ventiladores e exaustores. Esse método é amplamente utilizado devido ao seu custo acessível e é bastante aplicado em pequenas propriedades agrícolas que lidam com grãos. No entanto, sua principal limitação é a velocidade relativamente lenta do processo e a necessidade de grandes áreas para a exposição dos alimentos, como indicado na Figura 2.

Figura 2 – Secador solar de convecção natural de Othiene.



Fonte: COSTA, J. B. S, 2010.

2.5 Fruto do mar a ser analisado

O secador proposto será especialmente dedicado à secagem do camarão. Conforme definido pela Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO, 2011), o teor de umidade, ou teor de água, representa a porcentagem da massa total do produto composta pela massa de água presente. A Tabela a seguir exhibe a porcentagem de massa de água no alimentos antes do início do processo de secagem (Composição de água por 100 gramas de parte comestível).

Tabela 3 - Porcentagem de Massa de Água

Alimento	Composição de Água
Camarão	78 %

Fonte: TACO(2011)

2.5.1 Camarão

Os camarões são crustáceos de pequeno porte, pertencentes a um grupo que abrange aproximadamente 2.000 espécies. Esses animais são encontrados em todos os oceanos, além de lagos e rios, com preferência por mares mais quentes.

Reconhecidos mundialmente na culinária, os camarões desempenham papel essencial em pratos internacionais, destacando-se no Brasil em receitas como bobó de camarão e moqueca de camarão. Além de serem apreciados pelos humanos, são também uma fonte alimentar crucial para peixes maiores, como linguados e salmões.

Os camarões apresentam tamanhos variados, geralmente oscilando entre 4 a 8 centímetros, sendo as espécies maiores frequentemente denominadas

como "pitu". A coloração dos camarões destinados ao consumo geralmente varia entre tons de cinza e marrom.

Figura 3 – Alimento escolhido para secagem – Camarão



Fonte: Elaborado pelo autor.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A produção do secador teve início a partir de um projeto pré-existente, que, no entanto, encontrava-se fora de uso e em estado de sucata no Laboratório de Máquinas Hidráulicas e Energia Solar da UFRN, exigindo algumas manutenções e modificações simples. Quanto ao procedimento de desidratação das amostras de camarão, foi conduzido no dia 27/09/2023 nas áreas periféricas do Laboratório, aproveitando as condições climáticas favoráveis, com uma temperatura ambiente média de 30°C.

3.1 Construção do secador

A fabricação do secador se deu a partir de um trabalho já elaborado, porém em estado de desuso no laboratório de Máquinas Hidráulicas e Energias Solar UFRN, equipamento que necessitou de manutenção e pequena modificação em seu funcionamento conforme mencionado anteriormente. O secador foi fabricado utilizando-se latinhas de cerveja e madeira em MDF.

Figura 4 – Algumas etapas envolvidas produção e montagem do secador solar sugerido.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A produção e a montagem do secador solar de exposição direta proposto são procedimentos bastante diretos, fazendo-se uso dos seguintes materiais:

- Latinhas de cerveja em alumínio;
- 3 Tábuas de madeira em MDF;
- Serra tico-tico;
- Martelo;
- Pregos;
- Tinta preta;
- Tinta amarela;
- Vidros para reflexão solar;

Figura 5 – Secador em operação



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2 Procedimento experimental

Após a conclusão da fabricação do secador solar de exposição direta, deu-se início à fase experimental do processo. Inicialmente, foram selecionadas três amostras de camarão para referência, pesando 5,5g cada. Uma foi posicionada na entrada do secador, uma ao meio e a outra na saída.

Posteriormente, um bloco de isopor foi colocado na saída do secador com o propósito de direcionar o ar de saída para um ponto específico, onde foram

efetuadas algumas medições. Além disso, essa medida visou prevenir a entrada de correntes de ar indesejáveis na saída do secador. Com essa preparação, as demais amostras de camarão foram distribuídas ao longo do secador solar, e o processo de secagem teve início às 9h30 da manhã.

Após a primeira meia hora de secagem, foram realizadas as primeiras medições, incluindo as temperaturas do ar de secagem em dois pontos distintos: entrada, e saída do secador, bem como a irradiância solar. Além disso, a massa de cada amostra de camarão foi medida após a primeira hora de secagem. Adicionalmente, a velocidade do vento na saída do secador solar também foi registrada.

Todos esses procedimentos foram repetidos a cada hora até que a massa das amostras fosse em torno de 20% do seu valor inicial, o que indicaria perda de praticamente toda a fração de massa de água do camarão, conforme ilustrado na Tabela 3. O experimento foi conduzido ao longo de 5 horas.

3.3 Instrumentos usados para o preparo das amostras e para a coleta de dados

Em relação aos aparelhos utilizados para a obtenção de dados, foram empregados um medidor digital de radiação solar (Figura 7), um termômetro digital com termopares (Figura 6), balança digital de precisão (Figura 8) e um anemômetro (Figura 9).

Figura 6 – Termômetro



Figura 7 – Medidor de radiação



Figura 8 – Balança Digital



Figura 9 – Anemômetro



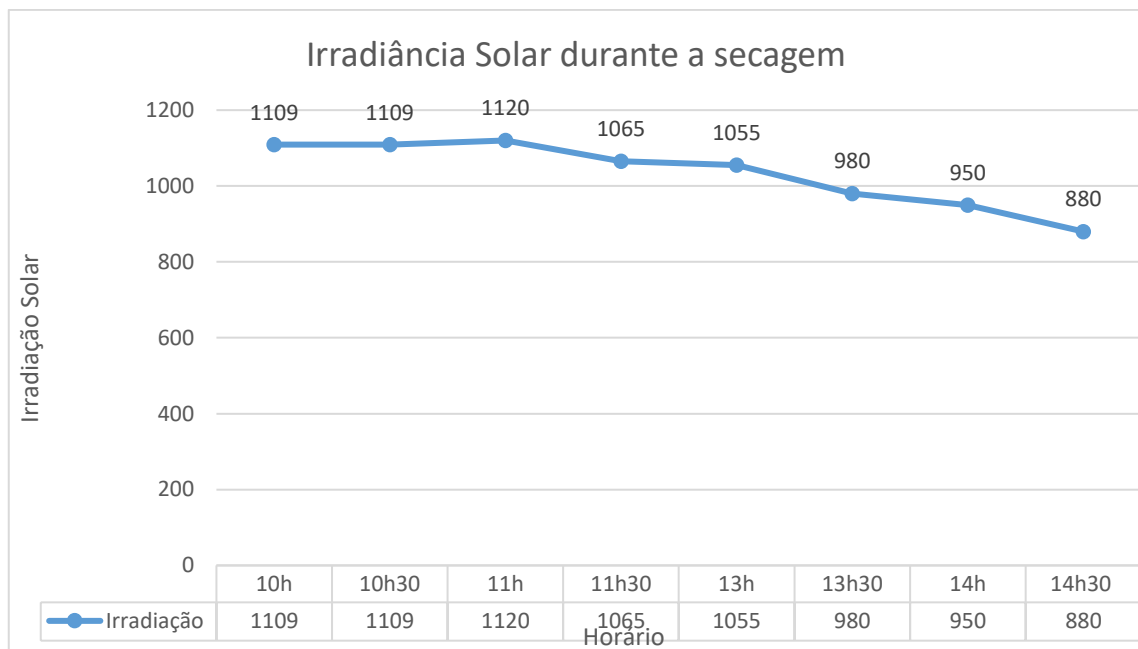
Fonte: Elaborado pelo autor.

4 RESULTADOS

4.1 Irradiação solar durante o período de coleta de dados

Ao longo das cinco horas de experimento, foram registrados os dados de irradiação solar no local onde os secadores solares estavam posicionados, utilizando um aparelho medidor de radiação solar (conforme apresentado na Figura 7). Este dispositivo era verificado a cada hora para obter o valor desse parâmetro. O Gráfico 1 a seguir ilustra a quantidade de irradiação solar presente no ambiente, expressa em watts por metro quadrado (W/m^2).

Gráfico 1 – Irradiância Solar durante a secagem



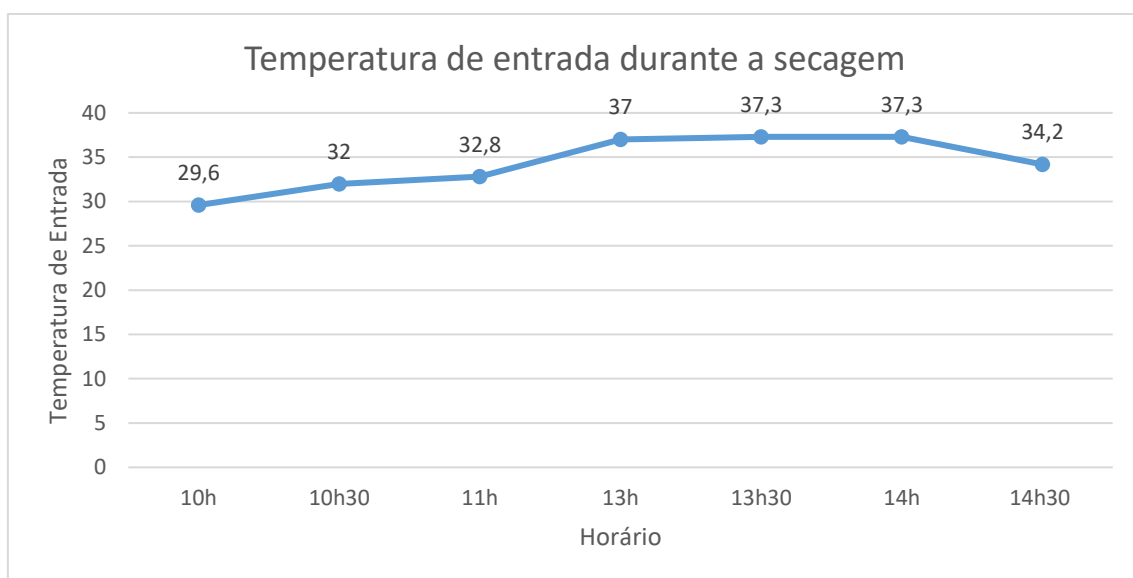
Fonte: Elaborado pelo autor.

O nível de irradiação solar pode variar em função dos seguintes fatores: horário da medição, condições climáticas, horário de medição e posição geográfica. Como evidenciado no Gráfico 1, observa-se pouca flutuação na irradiação solar ao longo do dia, influenciada pela presença quase nula de nuvens. O processo de secagem, portanto, manteve-se em conformidade com o objetivo geral do trabalho.

4.2 Coleta de dados da temperatura de saída e entrada

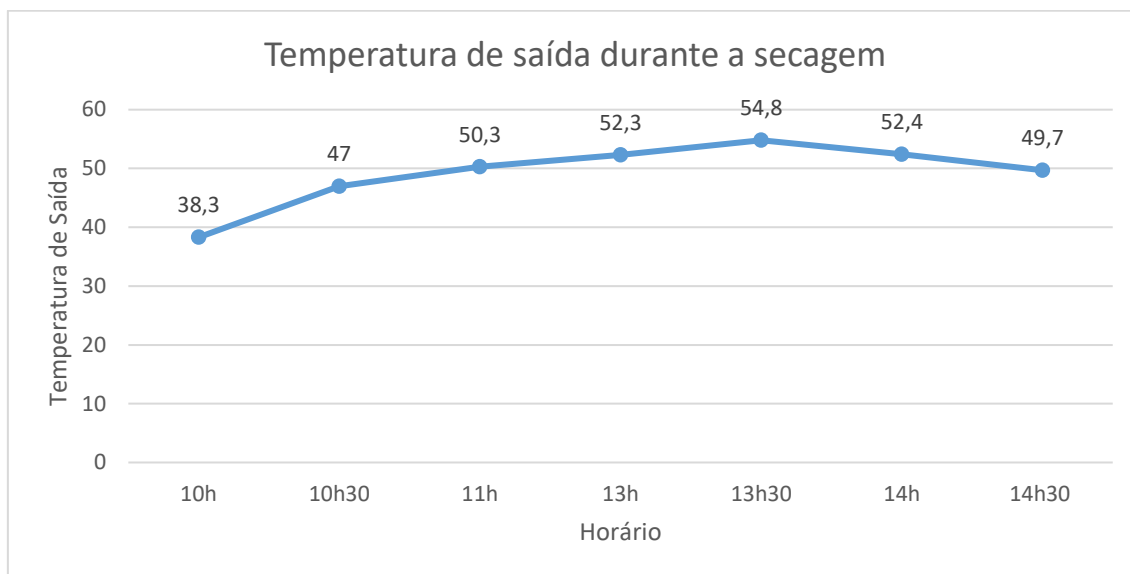
Também foram registrados os dados de temperatura do ar na entrada e saída a cada hora ao longo de todo o processo de secagem, bem como nos vidros internos, externos, na carcaça lateral e na parte abaixo do secador. Os dados capturados estão apresentados nos gráficos a seguir, com a coleta iniciando às 9:30 horas.

Gráfico 2 – Temperatura de entrada durante a secagem



Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 3 – Temperatura de saída durante a secagem



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 4 – Medidas superficiais de temperatura no secador

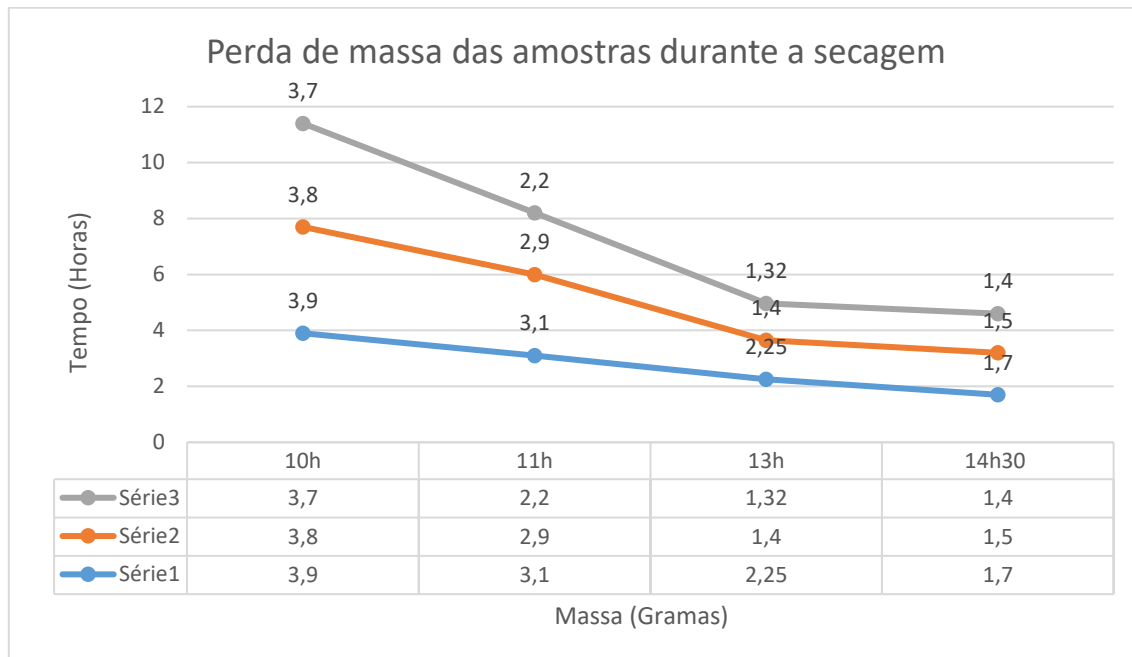
Locais de Medidas	Inferior	Intermediário	Superior
Vidro Interno	37,4	37,5	31,4
Vidro Externo	36,0	37,3	35,5
Fundo	34,6	36,6	35,2
Lateral Externa Leste	38,0	37,6	32,7
Lateral Externa Oeste	34,9	37,3	39,2
Lateral Interna Leste	44,0	43,3	44,6
Lateral Interna Oeste	41,8	41,9	46,8

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3 Perda horária e total de massa

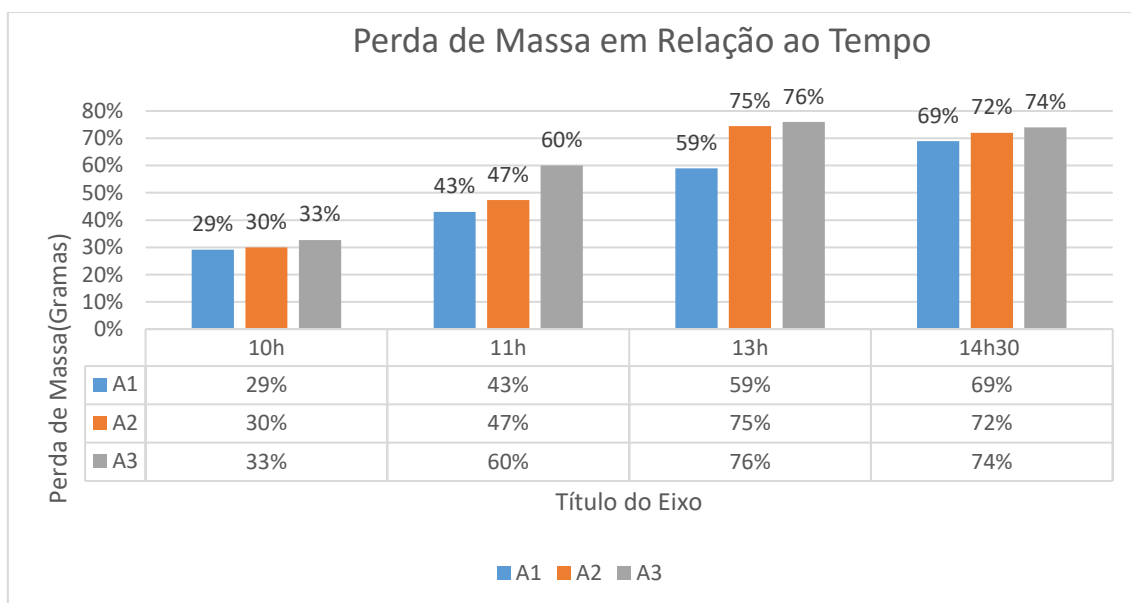
Aqui serão expostos os resultados obtidos em relação à redução total de massa das amostras, indicando a variação de massa em relação à sua quantidade inicial, bem como a redução de massa por hora. Esta última representa a porcentagem consecutiva de massa perdida em relação ao tempo decorrido no processo.

Gráfico 4 – Perda de massa durante a secagem



Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 5 – Perda percentual horária de massa



Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim, os gráficos acima revelam os seguintes resultados: a amostra na entrada experimentou uma diminuição total de massa de 69%, enquanto a amostra na saída perdeu 74% de sua massa inicial. Isso se deve ao desempenho eficaz do equipamento, onde o ar é aquecido na parte inferior (entrada), tornando-se menos denso e subindo impulsionado pela corrente

atmosférica, resultando em uma temperatura mais elevada na saída do secador, o que acelera o processo de secagem da amostra.

No que diz respeito à perda horária de massa, a amostra da entrada registrou sua maior perda entre 09h e 10h, com uma redução de 29%, enquanto na saída, a maior perda foi observada no mesmo horário, atingindo 33%. O gráfico 4 especificamente ilustra a perda total de massa ao longo das 5 horas de secagem durante o dia.

4.4 Vazão volumétrica na saída dos secadores solares

Mediante o uso de um anemômetro, a velocidade na saída dos secadores foi medida, resultando em uma média de 0,5 m/s. Utilizando a Equação 1, a vazão volumétrica (Q_v) dos equipamentos foi determinada multiplicando a velocidade do fluido pela área da seção transversal por onde o ar passou.

$$Q_v = V \cdot A \quad (1)$$

A vazão volumétrica (Q_v) na extremidade de saída do secador solar, a qual apresentava duas saídas circulares com diâmetro de 0,05m, totalizou $1,96 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$.

4.5 Eficiência do processo de secagem

Com base nos dados de temperatura coletados, percebe-se o bom funcionamento do equipamento, uma vez que as temperaturas deveriam aumentar da entrada para a saída do secador. Utilizando os valores de massa inicial e massa final, foi calculado o desempenho do processo de secagem proposto para o camarão, conforme apresentado na tabela a seguir:

Tabela 5 – Massa total do produto

Hora	A1	A2	A3
10h	29%	30%	33%
11h	43%	47%	60%
13h	59%	75%	76%
14h30	69%	72%	74%

Fonte: Elaborado pelo autor.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O secador solar de exposição direta por convecção natural abordado neste estudo se mostra uma solução eficaz para o processo de secagem de alimentos, demonstrando resultados satisfatórios, uma vez que a umidade final dos produtos ficou em torno dos 20%, com apenas 5 horas de trabalho caracterizando-os como alimentos desidratados.

Essa tecnologia de secador solar emerge como uma alternativa para otimizar o consumo alimentar, oferecendo benefícios como viabilidade na desidratação de alimentos, redução do desperdício, custo acessível de fabricação com materiais recicláveis e facilidade de operação. Alguns outros pontos positivos em destaque:

- 1 – O secador provou-se viável para realizar a secagem de camarão e outros alimentos de baixo custo.
- 2 – Como o custo de fabricação do equipamento é baixo, a tecnologia pode ser compartilhada com comunidades de baixa renda com o objetivo de combater a miséria.
- 3 – O manuseio do secador solar de exposição direta não exige grandes conhecimentos técnicos e isso facilita o uso pela grande parte da população.
- 4 - A secagem em exposição direta se mostrou eficiente para produção de alimentos secos em região da zona rural e urbana, onde há abundância de radiação solar durante o ano todo.

Os secadores propostos são, portanto, adequados para lidar com a questão da fome, podendo ser empregados tanto em áreas urbanas quanto rurais. Representam também uma alternativa para a geração de emprego e renda, especialmente em regiões de clima quente, contribuindo para evitar o desperdício da colheita e agregando valor aos produtos.

6 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, I. B.; LIMA, M. M. A; SOUZA, L. G. M. **Desenvolvimento de secador solar construído a partir de material reciclável**. Natal, RN: 2016. 9 f. Artigo – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Laboratório de Máquinas Hidráulicas e Energia Solar. Disponível em: <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/2477/1524>. Acesso: 04 jun. 2023.

B. O. Bolaji, Exergetic Analysis of Solar Energy drying Systems. Nat. **Resour.**, vol. 02, n. 02, p. 92–97, 2011.

BEZERRA, A. M. **Aplicações térmicas da energia solar**. João Pessoa, PB: Editora Universitária – UFPB, 2001.

CANAL RURAL. **Produção de castanha de caju cresce 33% em 2022: O número é maior que o registrado na safra passada, em que foram produzidas 110.570 toneladas do produto no Brasil**. 29 jan. 2023. Disponível em: <https://www.canalrural.com.br/agronegocio/producao-de-castanha-do-caju-cresce33-em-2022/>. Acesso em: 15 maio 2023.

CELESTINO, Sonia Maria Costa. **Princípios de Secagem de Alimentos** – Planatina, DF: Embrapa Cerrados, 2010.

EMBRAPA. **Ciência e tecnologia tornaram o Brasil um dos maiores produtores mundiais de alimentos**. 14 out. 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/75085849/ciencia-e-tecnologiatornaram-o-brasil-um-dos-maiores-produtores-mundiais-de-alimentos>. Acesso em: 30 maio 2023.

LEOCÁDIO, Emanuel Cabral. **Secagem de frutos do mar utilizando secador solar de baixo custo**. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/43009/2/TCC%20Concluido%20-%20Emanuel%20Cabral.pdf>. Acesso em: 2 fev. 2023.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. **Balanço Energético Nacional (BEN) 2022**. 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dadosabertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-638/BEN2022.pdf> Acesso em 6 jun. 2023.

ENERGIAS RENOVÁVEIS. **Relatório da Situação Mundial**, 2016. REN21. 2016.

FAO no Brasil. **ONU: 17% de todos os alimentos disponíveis para consumo são desperdiçados.** [S. l.], 5 mar. 2021. Disponível em: <https://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/pt/c/1379033/>. Acesso em: 7 abr. 2023.

FEIDEN, Adriana et al. **Desidratação de Frutas Utilizando Secador Solar.** Embrapa, Corumbá, Mato Grosso do Sul, 1 – 5, 2015. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/139108/1/COT98.pdf>. Acesso em: 02 de jun. 2023.

FIOREZE, R. **Princípios de secagem de produtos biológicos,** João Pessoa. Editora Universitária - UFPB, p.229, 2004.

GOLDEMBERG, José.; LUCON, Oswaldo. Energias renováveis: **um futuro sustentável.** Revista USP, n.72, p. 6-15, 2006.

LOPEZ, Ricardo Aldabó. **Energia solar para produção de eletricidade.** São Paulo: Artliber. 2012.

Lovins, L. H.; Cohen, B. **Capitalismo climático:** liderança inovadora para um crescimento econômico sustentável. São Paulo: Cultrix, 2013.

ALMEIDA, I.B.; et al., **Desenvolvimento de secador solar construído a partir de material reciclável.** Revista HOLOS, Natal, RN, 2016;
CRUZ, E. P.; Desperdiça 41 mil toneladas de alimento por ano. 2016.
Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2016-06/brasil-desperdica40-mil-toneladas-de-alimento-por-dia-diz-entidade>>. Acesso em 17 de jun de 2023;

COSTA, A.R.S. **Sistema de secagem solar para frutos e modelagem da secagem de banana em um secador de coluna estática.** Tese de Doutorado do Curso de PósGraduação em Engenharia Química da UFRN, Natal, RN, 2008;
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Tomate para processamento industrial, Brasília, DF, 2000;

Desperdício de Alimentos no Brasil. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/noticia/2019/02/10/cultura-da-fatura-impulsionadesperdicio-de-alimentos-no-brasil.ghtml>> Acesso em 15 de jan de 2023.

INCROPERA, F.P., DEWITT, D.P. **Fundamentos de transferência de calor e massa.** Guanabara Koogan, 4ª edição, Rio de Janeiro, 2003.

FERREIRA, A. G.; et al. Technical feasibility assessment of a solar chimney for food drying. Solar Energy. Vol. 82 p. 44-52 (2008).

SALAMONI, I.; RÜTHER, R. **Potencial Brasileiro da Geração Solar**
Fotovoltaica conectada à Rede Elétrica: Análise de Paridade de Rede. IX
Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído.
Ouro Preto, 2007.

TOLMASQUIM, M. T. (Org.). **Fontes Renováveis de Energia no Brasil**. 2003.
CHITARRA, M. I. F; CHITARRA, A. B. Pós-colheita de Frutas e Hortaliças:
fisiologia e manuseio. Lavras ESAL/FAEPE, 1990.320p.

COSTA, J. B. S.; **Obtenção e caracterização de farinha de frutas e vegetais
através do uso de um sistema de secagem solar de baixo custo**. 2010. 72
p. Dissertação de Mestrado – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade
Federal do Rio Grande do Norte, 2010.