

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
UNIDADE ACADÊMICA CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

ALEX TENÓRIO DE MENESES

**ESTUDO DA ADSORÇÃO DO FEROMÔNIO RINCOFOROL: APLICAÇÃO DE
CARVÕES DO TRONCO DO COQUEIRO E DO ENDOCARPO DO COCO DE
DENDÊ COMO DISPOSITIVOS DE LIBERAÇÃO PROLONGADA**

Maceió
2022

ALEX TENÓRIO DE MENESES

**ESTUDO DA ADSORÇÃO DO FEROMÔNIO RINCOFOROL: APLICAÇÃO DE
CARVÕES DO TRONCO DO COQUEIRO E DO ENDOCARPO DO COCO DE
DENDÊ COMO DISPOSITIVOS DE LIBERAÇÃO PROLONGADA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao curso de Engenharia Química da
Universidade Federal de Alagoas como
requisito para obtenção do título de Bacharel
em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. João Inácio Soletti.

Coorientador: Prof. Dr. Rodolfo Junqueira
Brandão.

Maceió
2022

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico Bibliotecária
Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale

H543e Meneses, Alex Tenório de.
Estudo da adsorção do feromônio rincoforol: aplicação de carvões do tronco do coqueiro e do endocarpo do coco de dendê como dispositivos de liberação prolongada / Alex Tenório de Meneses. – Maceió, 2022.
xi, 42 f. : il.

Orientador: João Inácio Soletti.
Monografia (TCC em Engenharia Química) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Curso de Engenharia Química. Maceió, 2022.

Bibliografia: f. 41-45.

1. Coco - Pragas. 2. Feromônio - Uso. 3. Rincoforol. 4. Adsorção.
5. Liberação prolongada. I. Título.

CDU: 66.091.3:577.19

À Deus, por toda força concedida a mim para continuar, à minha esposa por todo o companheirismo todos esses anos e aos meus pais e irmão pelo esforço concedido à minha educação.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer à Deus por todas as bênçãos concedidas em minha vida, e toda a força e persistência para continuar e realizar os meus sonhos. Aos meus pais, Maria Cecília Tenório de Meneses e Roberval de Meneses Ferreira, gratidão eterna pelo amor e esforço em nome da minha educação e toda a estrutura para que eu conseguisse chegar até aqui. À minha maravilhosa esposa, Erivania Santos Silva, por todo o companheirismo e incentivo ao longo de todos esses anos. Aos meus sogros, Maria Aparecida dos Santos e Amaro Manoel dos Santos por toda a ajuda concedida a mim durante a graduação. Ao meu tio Manoel Pedro dos Santos por sempre acreditar em mim. À Fátima por todo o carinho.

Gostaria de agradecer a todos que fazem parte do LASSOP, laboratório no qual desenvolvi diversas pesquisas, incluindo este trabalho de conclusão de curso e local que tenho grande carinho, em especial, ao meu orientador Professor Dr. João Inácio Soletti, ao meu coorientador Professor Dr. Rodolfo Junqueira Brandão, ao Professor Dr. Mozart Bispo, Larissa Arruda, Bárbara de Carvalho e Milena Santos, que foram essenciais na construção deste trabalho.

RESUMO

A cultura do coco (*Cocos nucifera* L.) apresenta-se de forma bastante desenvolvida no Brasil, porém essa cultura sofre com inúmeras pragas, que causam danos irreparáveis ao coqueiro. Dentre as principais pragas, encontra-se como expoente o besouro *Rhyncoforus palmarum*, agente transmissor do nematoide responsável pela doença do anel-vermelho. Como ferramenta de controle desta praga, atualmente, o uso de feromônios associado às armadilhas com alimentos tem se mostrado bastante eficiente na captura do inseto-praga. O feromônio utilizado é denominado como Rincoforol e é disponibilizado em eppendorf de plástico. Estudos voltados para a redução no consumo de plástico no manuseio de feromônios estão em desenvolvimento, cuja aplicação do agente de captura seria realizada em matrizes sólidas, como o carvão. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo, avaliar a capacidade adsorptiva e dessorptiva do carvão ativado do endocarpo do coco de dendê e do tronco do coqueiro (não ativado) na incorporação do Rincoforol, efetuando aferições mássicas diárias, sendo também analisada a influência do uso de estabilizante junto ao feromônio, da granulometria do carvão e do número de furos do sachê no processo de liberação. Para realizar a adsorção do feromônio no carvão, foi elaborado um planejamento experimental completo 2³ a fim de investigar os parâmetros supracitados, variando-se o número de furos (5 ou 15), granulometria ($0,5\text{ mm} < \varnothing < 0,64\text{ mm}$ e $\varnothing > 0,64\text{ mm}$) e a presença do estabilizante, obtendo como resposta a perda de massa. Em sachês plásticos, medindo, aproximadamente, 6,0 cm de comprimento e 4,0 cm de altura, foram inseridas 1,0 g dos carvões em estudo, umedecidos com 700µL de Rincoforol, os quais foram alocados em um suporte artesanal, distando 3,0 cm uns dos outros, para promover a liberação do semioquímico. O sistema (suporte + sachês) foram mantidos em uma casa de vegetação para simular a condição de liberação do feromônio do campo. Foi realizada a caracterização do carvão ativado do endocarpo do coco de dendê e realizada uma análise do decaimento de massa nos 30 primeiros dias, pois, é no primeiro mês que ocorre a maior liberação do feromônio; após, o experimento deu continuidade até completar 140 dias. Findo esse tempo, foi realizado um tratamento estatístico dos dados, para ambos os carvões, a fim de identificar a condição favorável para se promover uma liberação controlada, além de analisar o comportamento da transferência de massa através de modelos matemáticos de secagem (Lewis e Page). Por fim, foi averiguada a viabilidade de dispersão prolongada do feromônio em carvão, em comparação com o eppendorf.

Palavras-Chave: Adsorção, Liberação Prolongada, Rincoforol.

ABSTRACT

The coconut crop (*Cocos nucifera* L.) is very developed in Brazil, but this crop suffers from numerous pests, which cause irreparable damage to the coconut tree. Among the main pests, the beetle *Rhyncoforus palmarum* is the exponent that transmits the nematode responsible for the red ring disease. As a control tool for this pest, currently, the use of pheromones associated with food traps has been shown to be quite efficient in capturing the insect pest. The pheromone used is called Rincophorol and is available in plastic eppendorf. Studies aimed at reducing the consumption of plastic in the handling of pheromones are under development, whose application of the capture agent would be carried out in solid matrices, such as coal. In this context, the present study aimed to evaluate the adsorptive and desorption capacity of activated carbon from the endocarp of palm coconut and coconut tree trunk (not activated) in the incorporation of Rincophorol, carrying out daily mass measurements, being also analyzed the influence of the use of stabilizer together with the pheromone, the charcoal granulometry and the number of holes in the sachet in the release process. To carry out the adsorption of pheromone on charcoal, a complete experimental design 23 was developed in order to investigate the aforementioned parameters, varying the number of holes (5 or 15), granulometry ($0.5\text{ mm} < \varnothing < 0.64\text{ mm}$ and $\varnothing > 0.64\text{ mm}$) and the presence of the stabilizer, resulting in mass loss. In plastic sachets, measuring approximately 6.0 cm in length and 4.0 cm in height, 1.0 g of the studied charcoals were inserted, moistened with 700 μL of Rincophorol, which were placed in a handmade support, 3.0 cm from each other to promote the release of the semiochemical. The system (support + sachets) were kept in a greenhouse to simulate the condition of pheromone release from the field. The characterization of activated carbon from the endocarp of palm coconut was carried out and an analysis of the mass decay was carried out in the first 30 days, since it is in the first month that the greatest release of the pheromone occurs; afterwards, the experiment continued until completing 140 days. After this time, a statistical treatment of the data was carried out, for both coals, in order to identify the favorable condition to promote a controlled release, in addition to analyzing the behavior of mass transfer through mathematical drying models (Lewis and Page). Finally, the feasibility of prolonged dispersion of the pheromone in charcoal, in comparison with eppendorf, was investigated.

Keywords: Adsorption, Prolonged Release, Rhinchophorol.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. (a) Plantação de coco (*Cocos nucifera* L.); (b) Plantação de dendê (*Elaeis guineensis*).
- Figura 2. Estrutura Química do Rincoforol
- Figura 3. Foto do broca-do-olho-do-coqueiro, causador da doença do anel vermelho.
- Figura 4. Larva do besouro *R. palmarum*.
- Figura 5. Pupa do besouro *R. palmarum*.
- Figura 6. Ciclo de vida do besouro *R. palmarum*.
- Figura 7. a) Sachês em suporte e b) Modelo de sachê do experimento
- Figura 8. Infravermelho do carvão ativado do endocarpo do coco de dendê.
- Figura 9. Curvas de TG e DTG do carvão ativado do endocarpo do coco de dendê.
- Figura 10. Microscopia eletrônica de Varredura (MEV) realizada para os carvões (a) endocarpo do coco de dendê; (b) tronco do coqueiro.
- Figura 11. Diagrama de Pareto dos efeitos ao final de 30 dias para o carvão ativado do endocarpo do coco de dendê.
- Figura 12. Gráficos de Superfícies de resposta ao final de 30 dias para o carvão ativado do endocarpo do coco de dendê: a) Número de furos x Granulometria, b) Granulometria x Estabilizante e c) Número de furos x Estabilizante.
- Figura 13. Gráfico do a) Decaimento de massa de Rincoforol observado no experimento 3 e b) Decaimento de massa de Rincoforol observado no eppendorf.
- Figura 14. Diagrama de Pareto obtido a partir do planejamento experimental 2^3 para o carvão ativado do endocarpo de coco de dendê.
- Figura 15. Diagrama de Pareto obtido a partir do planejamento experimental 2^3 para o carvão do tronco do coqueiro.
- Figura 16. Gráfico de decaimento de massa de Rincoforol em carvão ativado do endocarpo do coco de dendê.
- Figura 17. Gráfico de decaimento de massa de rincoforol em carvão do tronco do coqueiro.
- Figura 18. Comparação entre o decaimento de massa do rincoforol utilizando o método experimental (condição 1 e 3) com o método do eppendorf no carvão ativado de endocarpo de coco de dendê.
- Figura 19. Comparação entre o decaimento de massa do rincoforol utilizando o método experimental (condição 1, 5 e 7) com o método do eppendorf no carvão do tronco do coqueiro.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Equações utilizadas para descrever a perda de massa.

Tabela 2. Planejamento Fatorial Completo 2^3

Tabela 3. Resultados obtidos do planejamento experimental completo 2^3 para o carvão ativado do endocarpo do coco de dendê ao final de 30 dias.

Tabela 4. Condições utilizadas no planejamento fatorial 2^3 e seus respectivos resultados para o carvão ativado do endocarpo do coco de dendê.

Tabela 5. Condições utilizadas no planejamento fatorial 2^3 e seus respectivos resultados para o carvão do tronco do coqueiro.

Tabela 6. Parâmetros dos modelos de Lewis e Page com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) para o carvão ativado do endocarpo de coco de dendê.

Tabela 7. Parâmetros dos modelos de Lewis e Page com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) para o carvão do tronco do coqueiro.

Tabela 8. Parâmetros referentes ao método de liberação por eppendorf e à condição 3 (com estabilizante, granulometria de $35 \text{ mesh} < \varphi < 28 \text{ mesh}$ e sachê com 5 furos), pelo modelo de Lewis e Page.

Tabela 9. Parâmetros referentes ao método de liberação por eppendorf e à condição 5 (sem estabilizante, granulometria de $\varphi > 28 \text{ mesh}$ e sachê com 5 furos), pelo modelo de Page.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. OBJETIVOS.....	12
2.1. Objetivo geral.....	12
2.2. Objetivos específicos.....	12
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1 Utilização de Semioquímicos e de Feromônios	13
3.2 O Rincoforol.....	14
3.3 Liberação Prolongada e Planejamento Experimental	17
4. METODOLOGIA	20
4.1 Planejamento Fatorial Completo 2 ³	20
4.2 Taxa de Liberação do rincoforol.....	20
4.3 Tratamento e análise dos dados de Cinética	21
4.4 Caracterização do Carvão Ativado do Endocarpo do coco de Dendê.....	22
4.4.1 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR).....	22
4.4.2 Análise Termogravimétrica (TGA).....	22
4.4. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	22
5. RESULTADOS	23
5.1.1 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR).....	23
5.2 Análise Termogravimétrica (TGA).....	24
5.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	24
5.4 Resultados para os primeiros 30 dias analisando o CA do endocarpo do coco de dendê).....	26
5.5 Comparação entre os métodos de liberação.....	29
5.6 Resultados para os 140 dias do CA do endocarpo do coco de dendê e CA do tronco do coqueiro.....	31
5.6.1 Planejamento fatorial completo 2 ³	31
5.6.2 Tratamento e análise dos dados de cinética.....	33
5.6.3 Método de liberação por eppendorf.....	36
6. CONCLUSÃO	40
REFERÊNCIAS	41

1. INTRODUÇÃO

A cultura do coco (*Cocos nucifera* L.) é bastante desenvolvida em diversos países do mundo, como Índia, Filipinas, México, Sri Lanka, Brasil, dentre outros que apresentam um clima tropical e favoreçam o seu desenvolvimento. Atualmente, o Brasil se destaca como o quinto maior produtor de coco do mundo, contribuindo com 4,5 % da produção mundial em 2020 (BRAINER, XIMENES, 2020).

No entanto, essa cultura sofre constante ameaça ao ataque de inúmeras pragas, dentre elas a que causa danos irreparáveis é a broca-do-olho-do-coqueiro, representada pela espécie *Rhynchophorus palmarum*, responsável pela transmissão da doença do anel vermelho (ARAUJO JUNIOR, 2018). Essa doença é causada pelo nematoide *Bursaphelenchus cocophilus* por causar danos irreparáveis à planta, podendo levá-la a morte. Além de atacar os coqueirais, outros tipos de plantas são ameaçados, como os dendezeiros (*Elaeis guineensis*) (TIGLIA et al., 1998; CYSNE et al., 2013; BOARI et al., 2016), plantações de cana-de-açúcar, mamoeiro, abacaxizeiro (NAVARRO et al., 2002), entre outras espécies.

Diversos métodos de controle são utilizados no combate à praga, como o método químico (inseticidas), biológico (fungos), cultural (eliminação de plantas contaminadas) e com feromônios, apresentando esse último uma boa resposta ao controle da praga, quando associado com iscas alimentares em armadilhas artesanais distribuídas na área plantada (FONTES; FERREIRA; SIQUEIRA, 2002; FERREIRA et al., 2014).

Atualmente, é utilizado o feromônio do tipo agregação, mais conhecido como Rincoforol, cuja síntese e comercialização são realizadas pela empresa Interacta Química Ltda. Para ser aplicado no campo, o feromônio sintetizado é distribuído em microtubos tipo eppendorf, apresentando um tempo de eficiência de até 90 dias. Contudo, busca-se alternativas ecologicamente sustentáveis para a liberação controlada do Rincoforol.

Matrizes sólidas inorgânicas, como zeólitas, já foram estudadas e obtiveram resultados satisfatórios, com alto potencial de atuarem como dispositivo liberador de Rincoforol (RAMOS, 2012; VIANA, 2018). No entanto, busca-se trabalhar com resíduos agroindustriais, transformando-os em carvão ativado, apresentando assim uma vasta gama de aplicabilidade. Diferentes materiais podem ser utilizados, no entanto, o carvão ativado (CA) do endocarpo do coco de dendê e o carvão do tronco do coqueiro tem despertado interesse por serem um subproduto do fruto de dendezeiros e coqueiros, espécies atacadas pelo *R. palmarum*.

Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo empregar o carvão ativado do endocarpo do coco de dendê e do tronco do coqueiro (não ativado) como matriz sólida para

liberação controlada do feromônio Rincoforol.

Figura 1. (a) Plantação de coco (*Cocos nucifera* L.); (b) Plantação de dendê (*Elaeis guineensis*).



Fonte: <https://www.agenciaeconordeste.com>, 2022.



Fonte: <https://embrapa.br>, 2022.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

O trabalho que foi desenvolvido teve como objetivo avaliar o potencial adsorativo do carvão ativado do endocarpo do coco de dendê e do carvão do tronco do coqueiro, atuando como matriz sólida para incorporação do feromônio de agregação Rincoforol, usado no controle da praga *R. palmarum*.

2.2 Específicos

- Aplicar o carvão ativado do endocarpo do coco de dendê e de tronco de coqueiro (não ativado) como matriz sólida na liberação do feromônio Rincoforol;
- Avaliar a viabilidade de liberação controlada de Rincoforol adsorvido nos carvões;
- Avaliar a influência das variáveis: granulometria do carvão, número de furos nos sachês e presença de um estabilizante, na liberação controlada de Rincoforol;
- Realizar a caracterização do carvão ativado do endocarpo do coco de dendê;
- Realizar uma análise do decaimento de massa do carvão ativado do endocarpo do coco de dendê nos 30 primeiros dias;
- Realizar um tratamento estatístico dos dados, para ambos os carvões, ao fim dos 140 dias de experimento, a fim de identificar a condição favorável para se promover uma liberação controlada;
- Analisar o comportamento da transferência de massa através de modelos matemáticos de secagem (Lewis e Page);
- Averiguar a viabilidade de dispersão prolongada do feromônio Rincoforol nos carvões, em comparação com o microtubo.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Utilização de Semioquímicos e de Feromônios

O besouro *Rhyncoforus palmarum*, bem como toda a classe de insetos, realizam suas interações com o ambiente e com os outros organismos de várias formas, sendo uma das mais importantes a comunicação por meio de compostos químicos. Estes compostos no indivíduo que irá receber a mensagem química agem de forma a gerar reações comportamentais específicas. Estes compostos químicos são denominados de semioquímicos. Este termo é utilizado para uma substância ou mistura química que transporta uma mensagem, onde, é através da detecção e emissão destes compostos que os insetos, por exemplo, comunicam-se para acasalamento (ZARBIN *et al.*, 2009).

Tratando-se das definições de semioquímicos, pode-se definir que, os que fornecem informações de uma interação entre dois indivíduos são designados infoquímicos. Quando a comunicação realizada pelo infoquímico é de indivíduos de uma mesma espécie, o infoquímico é chamado de feromônio, e esta comunicação é intraespecífica, porém, se a comunicação realizada pelo infoquímico for de indivíduos de espécies diferentes, este infoquímico é chamado de aleloquímico, e a comunicação é interespecífica (RAMOS, 2012).

Um dos exemplos de semioquímicos, mais precisamente um infoquímico, da classe de comunicação de mesma espécie, são os feromônios. Feromônios possuem uma característica química intrínseca, os quais são muito voláteis, ou seja, evaporam muito rápido a temperatura ambiente (MARTINS, 2013). Uma das atividades que pode ser realizada com o uso de feromônios é o controle do nível populacional de insetos, através da comunicação sexual, sem interferir em outros organismos, onde esta atividade está diretamente ligada ao uso de feromônios sexuais, com o intuito de atrair os indivíduos da mesma espécie (NAVARRO *et al.*, 2002).

Com relação ao emprego de semioquímicos sintéticos para o controle de pragas no Brasil, que houve resultados positivos, pode ser citado o uso do Rincoforol. Feromônio de Agregação da broca-do-olho do coqueiro, *Rhynchophorus palmarum* L. (Coleoptera: Curculionidae) (NAVARRO *et al.*, 2002), inseto transmissor da doença do Anel Vermelho, onde, esta doença é causada pelo nematoide chamado *Bursaphelenchus cocophilus*, um parasita obrigatório que somente se reproduz em tecidos de palmeiras, como dendezeiros e coqueiros. As características físicas deste nematoide são: possui o corpo alongado, com 775 µm a 1370 µm de comprimento e 15,5 µm de diâmetro, e apenas consegue ser visualizado através de lupa ou em microscópio ótico (EMBRAPA, 2016).

Em relação a produção de feromônios no Brasil, o estado de Alagoas foi o primeiro produtor de feromônio da América Latina e a segunda empresa do Brasil a comercializar o Rincoforol, produzido pela empresa Interacta Química, onde a mesma está incubada desde 2001, na Universidade Federal de Alagoas; apresenta soluções inovadoras no controle de pragas agrícolas. Com o propósito de utilização nas plantações, o feromônio Rincoforol é distribuído em microtubos tipo eppendorf, apresentando um tempo de eficiência de até 90 dias (3meses).

Trabalhos com o foco no estudo da liberação de feromônios em matrizes sólidas podem ser encontrados na literatura, como o do autor Viana et al. (2018), que utilizou duas matrizes inorgânicas (zeólitas L e Na-magadiita) para liberação controlada de Rincoforol, apresentando resultados satisfatórios quanto à estabilidade do feromônio e durabilidade de atuação no campo, visto que não houve degradação por 180 dias e apresentaram uma cinética de liberação lenta durante o período analisado.

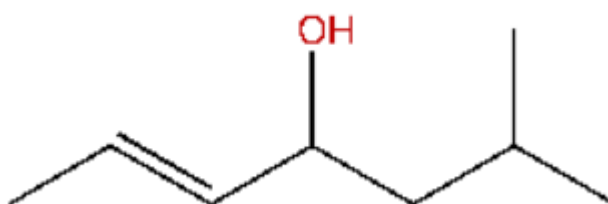
Autores como Ramos et al. (2017) também tiveram a liberação controlada de feromônio como foco de estudo, onde utilizaram diversos tipos de zeólitas (ZSM-5 e silicalita-1 na razão molar $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ de 24, 41 e 52) para retardar a liberação de Rincoforol, mas apenas a silicalita-1 ($\text{SAR} = \infty$) permitiu recuperar 90 % do feromônio adsorvido, enquanto a ZSM-5 degradou-o completamente.

3.2 O Rincoforol

Muitas são as pragas que afetam as culturas do coqueiro (*Cocus nucifera*) e do dendezeiro (*Elaeis guineensis*), entre elas, destaca-se o bicudo-das-palmáceas, broca-do-olho-do-coqueiro, elefante, aramandaiá e moleque, o *Rhynchophorus palmarum* L. (Coleoptera: Curculionidae), pois é causadora de danos consideráveis a essas plantações. Ele tem sido relatado em 35 espécies de plantas de 12 famílias diferentes, mas é predominantemente hospedeiro em palmeiras (RAMOS, 2012).

A primeira vez que o Rincoforol foi isolado e identificado foi em 1981 por Rochat e colaboradores, aplicando, de início, neste processo, entre outros, as técnicas de aeração e eletroantenografia. Porém, para a sua completa identificação estrutural, foram posteriormente empregadas, a cromatografia gasosa e a cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (NAVARRO et al., 2002).

Figura 2. Estrutura Química do Rincoforol



Fonte: RAMOS, 2012

O rincoforol é o maior constituinte do feromônio de agregação do macho do *Rhynchophorus palmarum* L. (Coleoptera: Curculionidade), Figura 3, um besouro que ataca diversas espécies de palmeiras e é o principal vetor do nematoide *Bursaphelenchus cocophylus*, agente causador da doença do anel vermelho (NAVARRO *et al.*, 2002).

Figura 3. Foto do broca-do-olho-do-coqueiro, causador da doença do anel vermelho.



Fonte: Agência Embrapa de Informação Tecnológica – EMBRAPA, 2016.

As características físicas do besouro *R. palmarum* adulto são: possui “bico” que é recurvado e forte, medindo aproximadamente 1,0 cm; as asas anteriores (élitros) são curtas, deixando exposta a parte terminal do abdômen, e possuem oito estrias longitudinais. (AGEITEC); possui cor negra, seu corpo mede cerca de 45 à 60mm de comprimento, 14 mm de largura e pesa de 1,6 à 2g (NAVARRO *et al.*, 2002).

O rosto do *R. palmarum* é um fator crucial na identificação sexual do inseto, pois as fêmeas possuem um rosto mais comprido, delgado e curvo do que o macho e os machos apresentam pelos no rosto (NAVARRO *et al.*, 2002). As mudanças evolutivas no corpo do *R. palmarum* iniciam-se com o besouro na fase de larva, passando para a fase de pupa, chegando após na fase adulta, como pode ser visualizado nas imagens abaixo:

Figura 4. Larva do besouro *R. palmarum*.



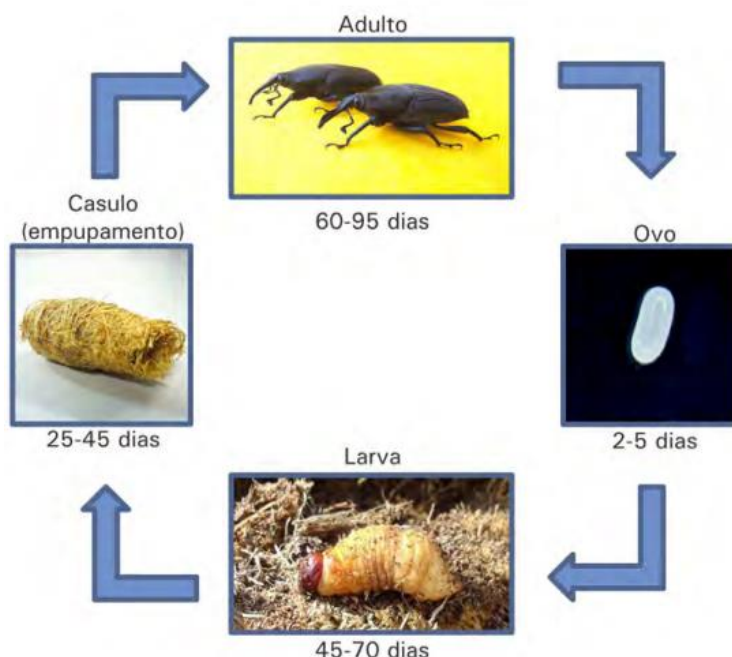
Fonte: <https://www.flickr.com/photos/plantaspensinsulaosa/6818248784>, 2022.

Figura 5: Pupa do besouro *R. palmarum*.



Fonte: RAMOS, 2012.

Figura 6: Ciclo de vida do besouro *R. palmarum*.



Fonte: Agência Embrapa de Informação Tecnológica – EMBRAPA, 2016.

Na fase inicial do *R. palmarum*, a larva, não possui pernas, possui uma cor branco-creme, porém sua cabeça tem tom castanho-escuro, seu corpo pode chegar até a 75 mm de comprimento e 25 mm de largura, sendo mais volumosa no centro e conforme e afilada nas extremidades, onde a mesma desenvolve-se no interior da planta, formando galerias nos tecidos tenros da região apical da planta. Ao realizar seu desenvolvimento, tece um casulo com as fibras da palmeira, onde transforma-se em pupa e depois em adulto (RAMOS, 2012).

3.3 Liberação Prolongada e Planejamento Experimental

A fim de avaliar a influência de diversos tipos de dispensadores, Nielsen et al. (2019) testaram sachê comercial, sachê comercial alterado, sacos de polietileno e rolos de algodão na liberação controlada de semioquímicos para captura da praga flores do oeste *Frankliniella occidentalis* (Pergande). O experimento foi realizado em condições controladas (quantidade de semioquímicos, temperatura e fluxo de ar), sendo realizado em laboratório. Para todos os materiais avaliados, identificou-se uma cinética de liberação de ordem zero, calculando-se a taxa de liberação a partir da perda de peso média diária para cada conteúdo, em um intervalo de 24 horas por 21 dias. Os resultados obtidos desse estudo mostraram que a taxa de liberação é influenciada por diversos fatores, como o material dispersante, a temperatura e o fluxo de ar.

Autores como Ramos (2012), Viana (2018) e Bezerra e Dornelas (2021), que tiveram estudos com resultados positivos e satisfatórios sobre a liberação prolongada de Rincoforol, concluíram que, matrizes sólidas apresentam-se como um dispositivo alternativo para se realizar a liberação controlada do feromônio Rincoforol.

Com o intuito de averiguar, além da possibilidade de uso do carvão ativado do endocarpo do coco de dendê como matriz sólida para liberação controlada de Rincoforol, mas também uma condição ótima para esta realização, os autores Meneses *et al* (2021) realizaram um planejamento experimental completo (2^3) a fim de avaliar a influência do uso de estabilizante junto ao feromônio, da granulometria do carvão ativado e do número de furos do sachê no processo de liberação. Os autores verificaram que a condição ótima de liberação controlada do feromônio neste caso, ao comparar com a liberação realizada em eppendorf (método de comercialização), foi o uso do rincoforol (com estabilizante) adsorvido em carvão com menor granulometria ($35 < \phi < 28$ mesh) e sachê com 5 furos, realizando assim uma menor perda de massa nos 30 dias de estudo.

Matrizes sólidas que consigam realizar a liberação controlada de feromônios são estudadas com o foco no prolongamento da atuação de captura de pragas no campo, com isso, materiais que sejam porosos e que possuam um alto nível de adsorção são cada vez mais procurados. Com isso, o uso de carvão ativado aparece como uma alternativa a essa busca, pois com sua porosidade é permitida a alta adsorção do feromônio em seus espaços intracristalinos (VIANA, 2018).

Na literatura, tratando-se de estudos de dessorção, com o intuito de comparação entre carvões, IP *et al.* (2009) estudaram a dessorção do carvão ativado saturado com corante reativo preto utilizando água a diferentes valores de pH. Os carvões utilizados foram o carvão ativado comercial, de turfa, de osso e dois de bambu. Os resultados mostraram que há uma pequena dessorção do carvão ativado comercial, de osso e de turfa, mas para os carvões de bambu a dessorção foi de 14 e 31%, respectivamente, mostrando a importância na escolha da biomassa a ser realizada a dessorção.

Assim como foi mostrado pelos autores Meneses *et al* (2021), quando se trata do estudo da adsorção de feromônios em carvão, a perda de massa apresenta-se como análise essencial, pois é com esse estudo que se pode averiguar a possibilidade de uso dessa matriz sólida como um possível liberador ou não. Na literatura são encontrados diversos modelos empíricos e semi-empíricos para descrever a cinética de decaimento de massa. O objetivo é buscar uma forma de representar a cinética que melhor se ajuste aos dados experimentais e assim, obter as equações de taxa de perda de massa. A Tabela 1 apresenta as equações de decaimento de massa mais

utilizadas, Lewis e Page, respectivamente. Além de serem modelos de aplicação simplificada, são obtidos a partir de uma avaliação fenomenológica, possuindo parâmetros com significado físico, sendo de fácil aplicação e de uso em simulação que avaliem o decaimento de massa (MARQUES, 2008).

Na tabela 1 constam os parâmetros k e n , que são parâmetros ajustáveis. O parâmetro k , denominado constante de secagem, está relacionado com a taxa de transferência de massa, sendo que quanto maiores forem os seus valores, mais rápida é a secagem, ou seja, para uma matriz sólida que apresenta um alto valor de k , existe a possibilidade de não haver uma liberação gradual do feromônio, mas sim uma rápida dessorção (MARQUES, 2008).

Tabela 1. Equações utilizadas para descrever a perda de massa

Denominação do modelo	Modelo	Equação
Lewis	$Xr = \exp(-k \cdot t)$	(1)
Page	$Xr = \exp(-k \cdot t^n)$	(2)

Fonte: BATISTA, 2021.

Outros parâmetros são o Xr que é a razão do teor perda de massa (adimensional); t é o tempo; k é a constante de cinética de transferência de massa; e n é o coeficiente de ajuste do modelo, para a Equação 2 (BATISTA, 2021). A razão de perda de massa (Xr), grandeza adimensional, durante a dessorção pode ser determinada por meio da Equação 3.

$$Xr = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} \quad (3)$$

Em que X é o teor de massa “absoluto”; X_i é o teor de massa inicial do produto; e X_e é o teor de massa do produto no equilíbrio (SANTOS et al, 2013).

A procura por uma liberação controlada de Rincoforol, leva a busca pelas variáveis que mais irão interferir neste processo, porém a utilização de métodos, como o planejamento fatorial de experimentos pode ser aplicado em diversos tipos de estudos com este enfoque, pois este método tem como objetivo a investigação de variáveis que mais possam interferir no processo estudado (COSTA, 2017; MELO, 2015).

4. METODOLOGIA

O feromônio utilizado no estudo foi produzido pela empresa Interacta Química, localizada em Maceió/AL. E os carvões, tanto o carvão ativado do endocarpo do coco de dendê quanto o carvão do tronco do coqueiro (não ativado) foram oriundos de pirólise. Os experimentos foram realizados no Laboratório de Separação e Otimização de Processos (LASSOP), localizado na Universidade Federal de Alagoas (UFAL), em Maceió/AL. A metodologia foi semelhante a aplicada por Meneses *et al* (2020), inserindo um outro tipo de carvão a fim de investigar a eficiência de cada material no processo de liberação controlada do feromônio Rincoforol.

4.1 Planejamento Fatorial Completo 2^3

Devido à alta volatilidade do feromônio Rincoforol, primeiro foi realizado um estudo para os primeiros 30 dias, apenas do carvão ativado do endocarpo do coco de dendê, e após foi realizado os estudos para ambos os carvões ao fim dos 140 dias de experimento. Para a avaliação e identificação das variáveis significativas do processo de dessorção foi aplicado um planejamento fatorial completo 2^3 , realizado em duplicata, onde os fatores foram: número de furos no sachê, granulometria e estabilizante. Para cada adsorbato, duas granulometrias de carvão foram estudadas: $35 \text{ mesh} < \varnothing < 28 \text{ mesh}$ e $\varnothing > 28 \text{ mesh}$; sachês de polietileno, com 5 e 15 perfurações; e utilizou-se feromônio com e sem estabilizante, como está apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Planejamento Fatorial Completo 2^3

Fatores	Nível inferior (-1)	Nível Superior (+1)
Granulometria do CA	$35 \text{ mesh} < \varnothing < 28 \text{ mesh}$	$\varnothing > 28 \text{ mesh}$
Estabilizante	Sem	Com
Número de furos no sachê	5	15

Fonte: AUTOR, 2022.

O objetivo do planejamento foi determinar a influência dos fatores supracitados na liberação do rincoforol adsorvido no carvão e aplicado em campo.

4.2 Taxa de liberação do rincoforol

O rincoforol [$\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}$, massa molecular (MM) = $128,21 \text{ g mol}^{-1}$] foi cedido pela empresa Interacta Química Ltda. e acondicionado sob refrigeração até o início do preparo das amostras.

Para a análise, adicionou-se um grama dos carvões do endocarpo do coco de dendê e do tronco do coqueiro nos sachês, que foram perfurados com agulhas de mesma espessura. Acrescentou-se 700 μ L de feromônio, e em seguida a embalagem foi lacrada.

O experimento foi realizado durante um período de 140 dias, aferindo as massas dos sachês diariamente. Os sachês foram suspensos em um suporte, mantendo 3 cm de distanciamento entre eles, conforme disposto na Figura 7.

Figura 7. a) Sachês em suporte e b) Modelo de sachê do experimento



Fonte: AUTOR, 2021.

O estudo foi conduzido em uma casa de vegetação, simulando um teste de campo, sem interferências externas e aproximando às condições de aplicação do eppendorf.

4.3 Tratamento e análise dos dados de cinética

Na literatura encontram-se trabalhos como o de Cavalcante *et al* (2020) sobre avaliação de cinética de secagem utilizando modelos matemáticos, como os de Lewis e Page, para ajustar dados experimentais.

A partir dos resultados experimentais, foram traçadas curvas do decaimento de massa em função do tempo. Realizou-se a análise da cinética das oito condições propostas no planejamento experimental fatorial completo (2^3), bem como a avaliação cinética do rincoforol dispensado em microtubo de plástico tipo eppendorf, utilizando os modelos matemáticos de Lewis e Page para ajuste dos dados. A utilização do eppendorf para liberação do Rincoforol é o atual método de comercialização do produto, pela empresa Interacta Química LTDA.

Para o tratamento dos dados e resultados, foram utilizados os *softwares* Microsoft Excel 2010, Origin 2021 e Statistica versão 8.0.

4.4 Caracterização do carvão ativado do endocarpo do coco de Dendê

4.4.1 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

A análise de espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) permitiu identificar a presença de grupos funcionais presentes na estrutura do carvão ativado do endocarpo do coco de dendê. A amostra foi preparada, triturando o conteúdo e misturando com KBr na proporção de 3% em massa da amostra. A leitura foi realizada em um espectrofotômetro Shimadzu modelo IRPrestige-21, cujo espectro de leitura variou na faixa de 4000 a 400 cm^{-1} com transmitância de 50 scans.

4.4.2 Análise Termogravimétrica (TGA)

A fim de avaliar a estabilidade térmica do adsorvente, foi realizada a análise termogravimétrica, utilizando-se uma termobalança Shimadzu modelo DTG-60H. Aferiu-se, aproximadamente, 7 mg do carvão ativado do endocarpo do coco de dendê, submetendo-a a taxa de aquecimento de 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$, iniciando em 37 $^{\circ}\text{C}$ até 900 $^{\circ}\text{C}$. Manteve-se a atmosfera inerte (gás nitrogênio) no equipamento, com vazão de 50 mL/min .

4.4.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Com o intuito de obter uma melhor imagem da porosidade dos carvões estudados, foram realizadas análises de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), onde esta análise permite-nos a obtenção de uma imagem ampliada e tridimensional da amostra alcançando um resultado muito superior ao da microscopia ótica, devido à irradiação de um fino feixe de elétrons ao contrário da radiação da luz, resultando em uma imagem capaz de fornecer informações sobre a topografia da superfície (DEDAVID, 2007).

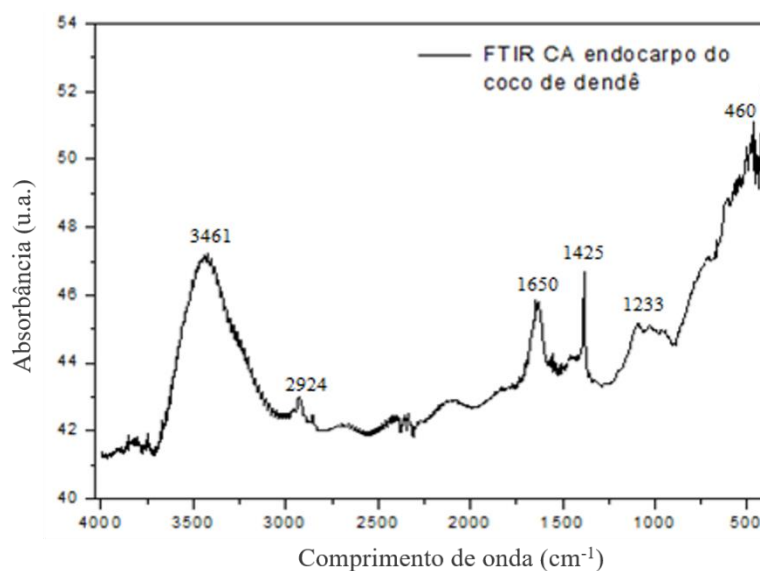
5. RESULTADOS

5.1 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

A partir da análise de FTIR é possível identificar grupos funcionais presentes na estrutura do carvão, conforme a Figura 8.

A acentuada banda em torno de 3461 cm^{-1} corresponde ao estiramento de ligações O-H, indicando a presença de álcoois. A banda menos expressiva entre os comprimentos de onda 2924 a 2850 cm^{-1} e a região entre 1425 e 1370 cm^{-1} estão relacionadas às ligações do tipo C-H, característico dos grupos metilas (CH_3) e metileno (CH_2), existentes em grande parte dos espectros de compostos orgânicos. O sinal verificado entre 1650 a 1500 cm^{-1} está associado tanto à presença de grupos CH_2 e CH_3 quanto à deformação da ligação O-H originados de grupos fenólicos, os quais também são identificados na região de 1233 cm^{-1} , banda associada a vibrações de ligações do tipo C-C-O ou C-O (HOFFMANN, 2016). Em torno de 460 cm^{-1} identifica-se ainda um pico correspondente ao estiramento de ligações C-C (ANDRADE, 2018).

Figura 8. Infravermelho do carvão ativado do endocarpo do coco de dendê.



Fonte: AUTOR, 2020.

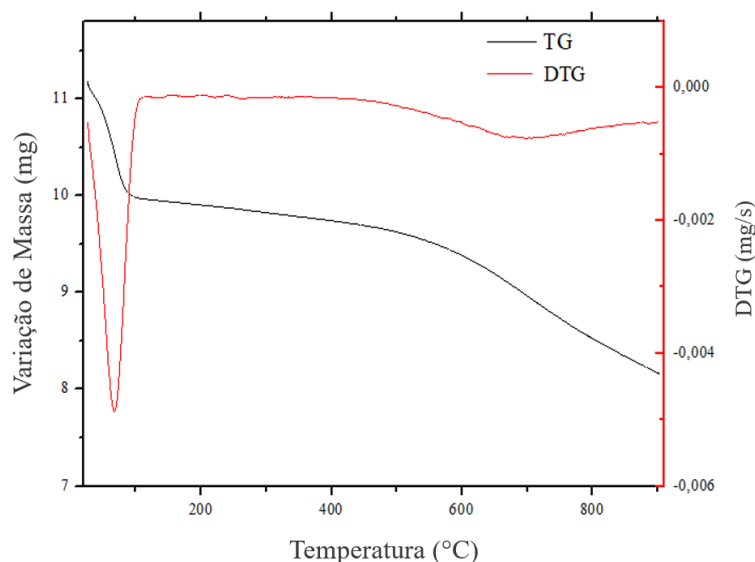
Diante disso, verifica-se que a estrutura do carvão apresenta grupos orgânicos que permitem uma maior interação entre o adsorvente e o adsorvato, de acordo com o critério de

solubilidade. Assim, o Rincoforol pode permanecer por mais tempo adsorvido ao CA, prolongando sua liberação.

5.2 Análise Termogravimétrica (TGA)

A análise termogravimétrica (TGA) permitiu avaliar a estabilidade térmica e o perfil de decomposição do CA do endocarpo do coco de dendê. Como o material é submetido a um aquecimento gradual, verifica-se que em determinadas faixas de temperatura ocorre um decaimento de massa acentuado, conforme apresentado na Figura 9.

Figura 9. Curvas de TG e DTG do carvão ativado do endocarpo do coco de dendê.



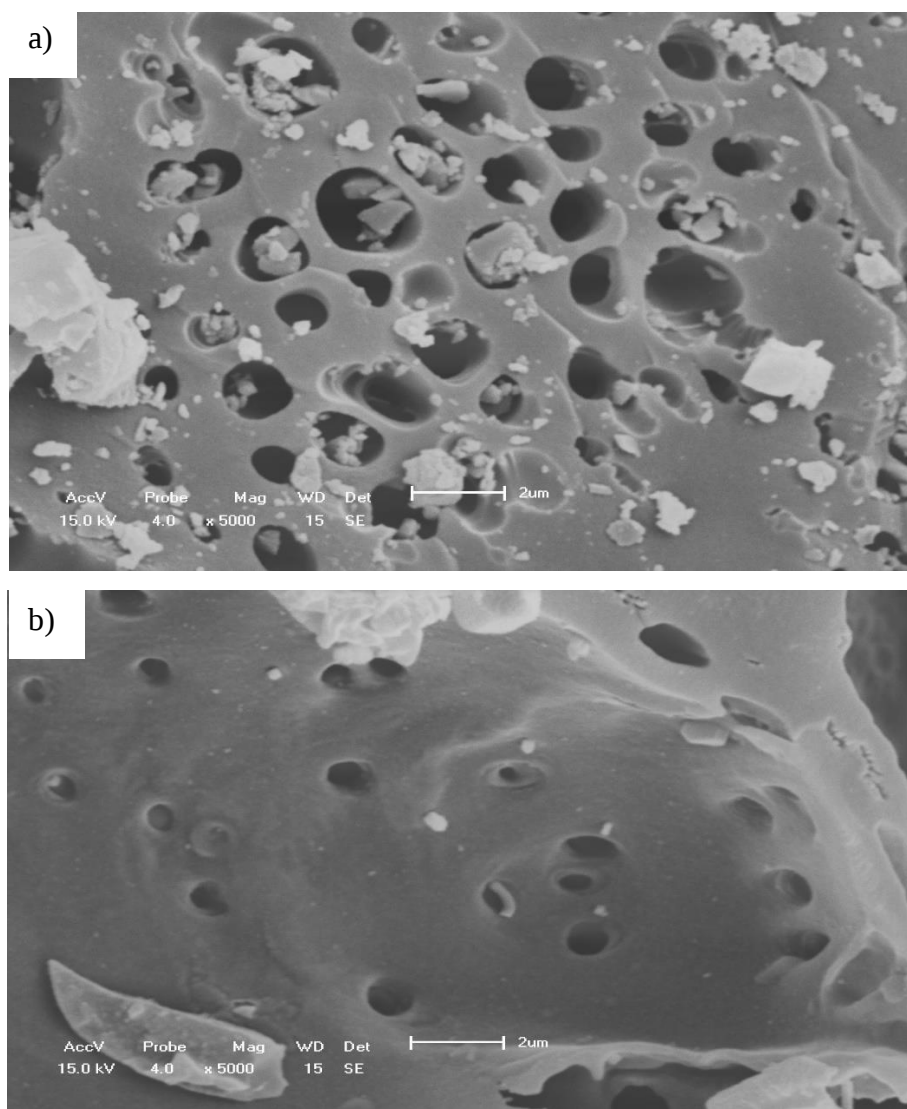
Fonte: AUTOR, 2020.

A partir do termograma, constata-se um decaimento de massa significativo abaixo de 100 °C. Este comportamento até a temperatura de 100 °C correspondente à eliminação de água, hidrocarbonetos voláteis e resíduos ácidos ativantes. A partir de 400 °C, verifica-se mais uma perda de massa devido à decomposição de compostos orgânicos presentes no material (CAMBUIM, 2009).

5.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Com a utilização de um MEV Shimadzu, modelo SSX-550 Superscan, onde o metalizador foi o Sanyu Electron, modelo Quick Coater SC-701 e as amostras foram metalizadas durante 6 minutos com alvo de ouro em corrente de 10 mA, obteve-se as figuras 10.

Figura 10. Microscopia eletrônica de Varredura (MEV) realizada para os carvões (a) endocarpo do coco de dendê; (b) tronco do coqueiro.



Fonte: Autor, 2022.

Mediante o auxílio das imagens, averigua-se que o carvão ativado do endocarpo do coco do dendê possui uma superfície mais porosa e com uma maior quantidade de poros, do que o carvão do tronco do coqueiro, fazendo com que houvesse o levantamento da hipótese de que ele realize uma liberação menos controlada que o carvão do tronco do coqueiro.

5.4 Resultados para os primeiros 30 dias analisando o CA do endocarpo do coco de dendê.

Diante da revisão efetuada, foi possível definir um estudo de liberação do feromônio Rincoforol, empregando sachês de polietileno para armazenar o conteúdo dispersante. Pretendendo avaliar a influência de alguns fatores, um planejamento experimental completo (2³) foi proposto, aferindo a massa do conteúdo em um intervalo de 24 horas por 30 dias, obtendo-se como resposta a perda de massa, após isso, o experimento deu-se continuidade e foi realizado novamente os estudos ao final dos 140 dias. Além disso, fez-se uma comparação da liberação observada nos sachês com a do Rincoforol formulado líquido disperso em microtubos plásticos, nos primeiros 30 dias e ao final dos 140 dias.

A partir do planejamento experimental completo realizado para o estudo foi possível avaliar a influência das variáveis investigadas no processo de liberação de Rincoforol adsorvido em carvão ativado do endocarpo do coco de dendê.

A fim de evitar a obtenção de dados tendenciosos, os testes foram realizados de forma aleatória, como apresentado na Tabela 3, na qual consta os fatores analisados e a distribuição dos níveis ao longo do planejamento, assim como a porcentagem de perda de massa para cada experimento ao final do teste de campo de 30 dias.

Tabela 3. Resultados obtidos do planejamento experimental completo 2³ para o carvão ativado do endocarpo do coco de dendê ao final de 30 dias.

Ordem dos experimentos	Estabilizante	Granulometria	Nº de furos	% Perda de massa	
1	(-) Sem	(-) 35 < ϕ < 28	(-) 5	20,5885	19,1660
3	(+) Com	(-) 35 < ϕ < 28	(-) 5	17,5261	18,0369
5	(-) Sem	(+) ϕ > 28	(-) 5	22,3170	20,3240
7	(+) Com	(+) ϕ > 28	(-) 5	19,2746	19,8885
8	(-) Sem	(-) 35 < ϕ < 28	(+) 15	23,8251	21,3463
6	(+) Com	(-) 35 < ϕ < 28	(+) 15	18,8103	19,2638
4	(-) Sem	(+) ϕ > 28	(+) 15	21,9406	21,4970
2	(+) Com	(+) ϕ > 28	(+) 15	19,6919	19,3596

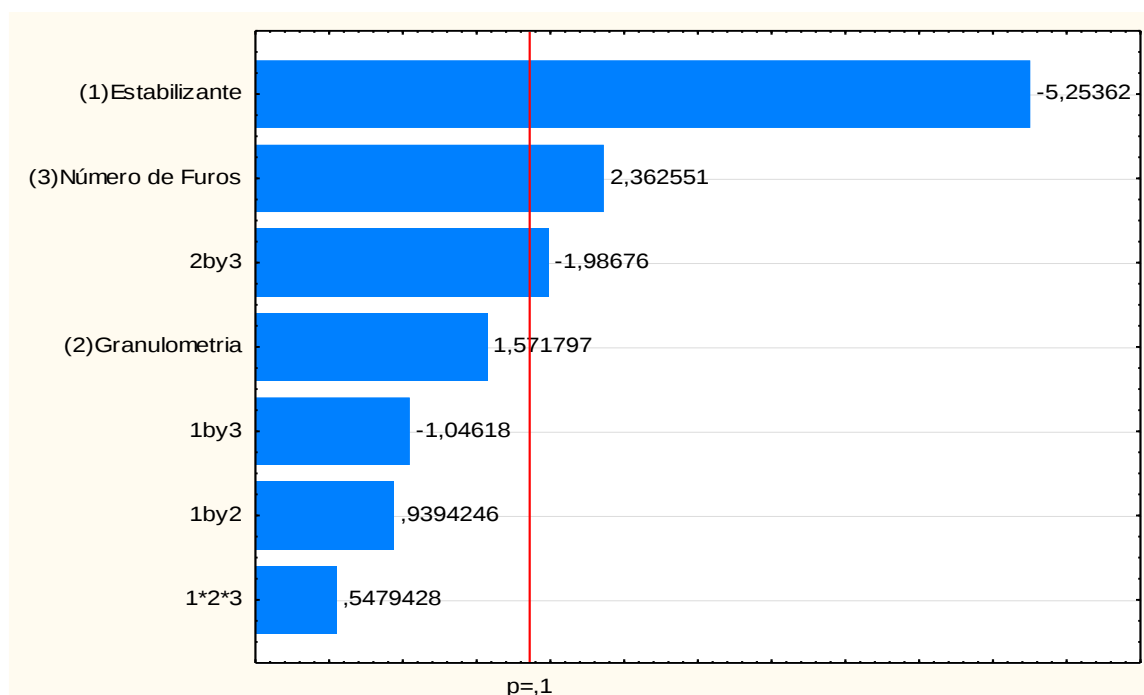
Fonte: AUTOR, 2020.

Através dos dados apresentados na Tabela 3, verificou-se que a condição 3 foi a que apresentou a menor perda de massa, devido ao fato de possuir estabilizante e 5 furos, variáveis

estas que causam o maior impacto na liberação prolongada do Rincoforol, como pode ser visto na Figura 11, diminuindo assim a liberação do feromônio.

Para uma melhor visualização da influência das variáveis na liberação prolongada de Rincofol, utilizando-se o *software* Statistica 13.0, foi construído um Diagrama de Pareto, disposto na Figura 11.

Figura 11. Diagrama de Pareto dos efeitos ao final de 30 dias para o carvão ativado do endocarpo do coco de dendê.



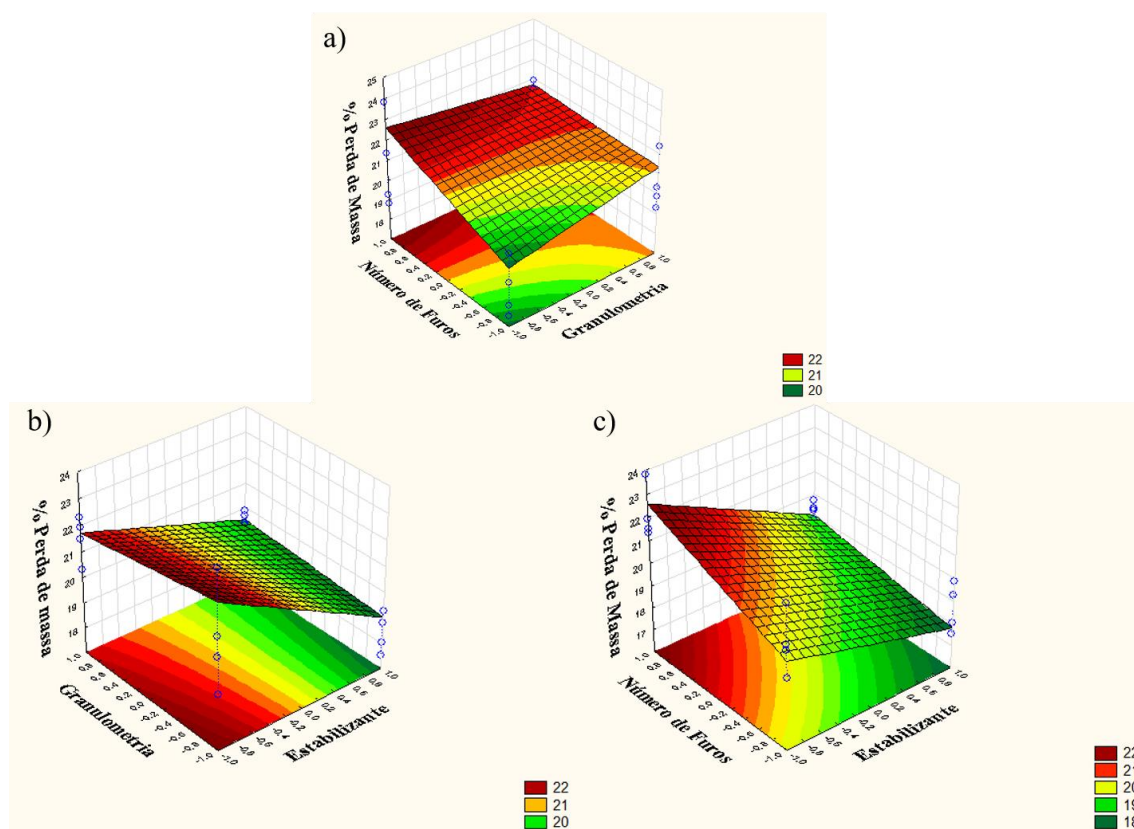
Fonte: AUTOR, 2020.

Este diagrama apresenta o resultado dos efeitos dos fatores e da interação entre eles no processo de liberação do feromônio. De acordo com os cálculos, pode-se afirmar, com 90 % de confiança, que o fator de maior influência é o uso do estabilizante, pois o estabilizante diminui a volatilidade do Rincoforol, com isso diminui a taxa de liberação; seguido do número de furos, tendo uma menor contribuição para o processo a variável granulometria. Como o experimento foi realizado em uma casa de vegetação destinada a experimentos ambientais, o nível de confiança é comumente aplicado em estudos afins, que dependem diretamente de fatores climáticos (SILVA; AZEVEDO, 2002).

O sinal associado aos valores indicados em cada bloco do diagrama de Pareto indica como os fatores influenciam o processo de liberação do feromônio ao passar do nível inferior ((-)1) para o nível superior ((+)1). No caso do estabilizante, o sinal negativo indica que ao utilizar

rincoforol combinado com o estabilizante a perda de massa sofre uma redução. Esse resultado é comprovado a partir dos valores obtidos para a porcentagem de perda de massa nos experimentos (2, 3, 6 e 7) em que se aplicou o composto (rincoforol + estabilizante), sendo inferiores a 20 %, como pode ser observado na Tabela 3. Como os compostos da formulação contêm substâncias orgânicas que concentram o rincoforol mais na fase líquida do que na fase gasosa, seu uso é positivo para que o produto permaneça por mais tempo no carvão.

Figura 12. Gráficos de Superfícies de resposta ao final de 30 dias para o carvão ativado do endocarpo do coco de dendê: a) Número de furos x Granulometria, b) Granulometria x Estabilizante e c) Número de furos x Estabilizante.



Fonte: AUTOR, 2020.

Em relação ao número de furos do sachê, observa-se que o aumento dessa variável favorece a liberação do feromônio, como se constata nos experimentos 4 e 8, com uma média de 22,59 % e 21,72 % de perda de massa, respectivamente, também observado na superfície de resposta da Figura 12c, aliado à ausência de estabilizante. Esse resultado já era previsto, uma vez que triplicando o número de furos aumenta-se a área de transferência de massa entre o carvão e o meio. Então, para se ter uma liberação controlada, deve-se trabalhar com apenas 5 furos para aumentar a permanência dos sachês no campo.

Embora a granulometria sozinha não tenha contribuído significativamente, sua associação com o número de furos influencia significativamente o processo. Quando esses dois fatores passam do nível inferior para o superior, ou seja, quando se trabalha com uma granulometria acima 28 mesh e um sachê que apresenta 15 furos, isso aumenta a perda de massa, como é observado na superfície de resposta da Figura 8a. Resultado semelhante é encontrado comparando o teste 3 com o teste 6 (Tabela 3). Isso indica que uma maior granulometria apresenta uma menor área superficial para a incorporação do feromônio, de modo que boa parte do líquido permaneça na superfície do carvão e disperso no sachê, havendo uma transferência de massa ainda maior.

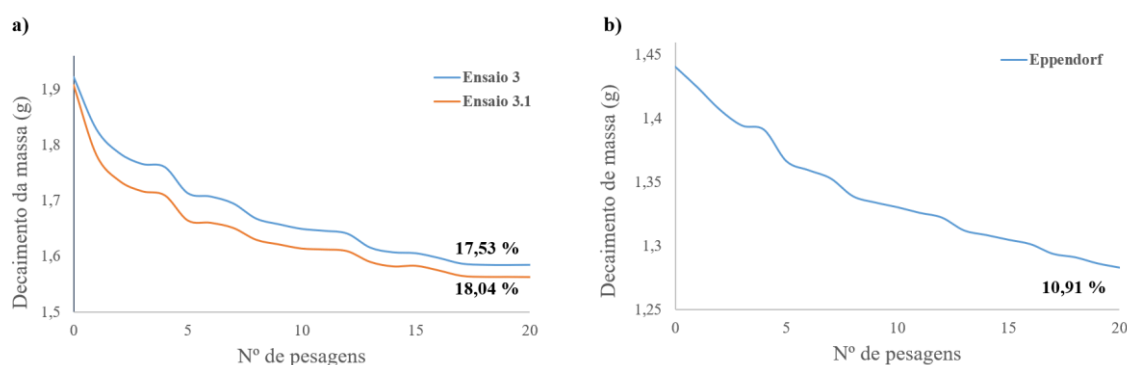
Como já indicado no diagrama de Pareto, a superfície de resposta da Figura 12b evidencia que a interação entre a granulometria e o estabilizante não interfere no processo de liberação.

Como o objetivo desse trabalho é encontrar a condição ótima que favoreça a permanência do rincoforol na matriz sólida por um longo período, analisando os resultados obtidos nos primeiros 30 dias, conclui-se que adsorver o rincoforol formulado no carvão ativado de dendê, na granulometria de entre 35 e 28 mesh, utilizando um sachê com apenas 5 furos, a perda de massa é menos acentuada, como apresentado no experimento 3, alcançando somente 17,78 % em um mês de aplicação.

5.5 Comparação entre os métodos de liberação

A fim de avaliar o perfil de liberação de rincoforol contido em eppendorf com o método de liberação utilizando a matriz sólida, foram construídos os gráficos para cada ensaio, mas como apenas o experimento 3 apresentou uma menor perda de massa no período avaliado, comparou-se o seu perfil de decaimento de massa com o da ampola, conforme apresentado na Figura 13.

Figura 13. Gráfico do a) Decaimento de massa de Rincoforol observado no experimento 3 e b) Decaimento de massa de Rincoforol observado no eppendorf.



Fonte: AUTOR, 2020.

A partir dos resultados obtidos, verifica-se que a liberação do feromônio armazenado em eppendorf é mais lenta do que na matriz sólida contida em sachês. Isso deve-se ao fato de o eppendorf apresentar apenas um furo em sua tampa, por meio do qual o feromônio se propaga. Já nos sachês pode haver 5 ou 15 furos para ambas as laterais, totalizando 10 ou 30 orifícios pelos quais o rincoforol se dissemina.

No caso do experimento 3, os sachês das duplicatas contêm apenas 5 furos, fator que contribuiu para um decaimento de massa menor que nos demais ensaios. O perfil de decaimento das duplicatas deste ensaio apresentou comportamentos semelhantes e alcançaram perda de massa próxima para as amostras 3 e 3.1, de 17,53 % e 18,04 %, respectivamente. Embora esses valores sejam um pouco mais altos que o obtido para a ampola (10,91 %), os valores não apresentam uma discrepância significativa, levando em conta suas condições experimentais. Observa-se que o perfil de decaimento de massa para o eppendorf apresenta uma tendência linear, diferente do experimento feito em sachês, com uma tendência constante após o 17º dia de pesagem. Então, para fazer uma avaliação mais completa é imprescindível que o tempo de coleta de dados seja estendido, acompanhando além desses parâmetros, outros fatores que podem interferir no processo de liberação, por isso o experimento estendeu-se por mais 110 dias, totalizando 140 dias.

Analisando os resultados obtidos, verifica-se que o tipo de dispensador influencia diretamente a taxa de liberação do feromônio, associado a outros fatores, como a temperatura do ambiente em que se realiza o experimento e as características físico-químicas do composto a ser disperso (Nielsen et al., 2019).

5.6 Resultados para os 140 dias do CA do endocarpo do coco de dendê e CA do tronco do coqueiro

5.6.1 Planejamento fatorial completo 2³

A partir do planejamento experimental completo 2³ realizado para o estudo ao fim dos 140 dias, foi possível avaliar a influência das variáveis investigadas no processo de liberação do rincoforol adsorvido em carvão ativado do endocarpo do coco de dendê e do tronco do coqueiro.

Com o objetivo de evitar erros sistemáticos, os testes foram realizados de forma estocástica, conforme apresentado na Tabela 4 e 5, na qual constam os fatores analisados e a distribuição dos níveis ao longo do planejamento, bem como a porcentagem de perda de massa para cada condição ao final dos experimentos.

Tabela 4. Condições utilizadas no planejamento fatorial 2³ e seus respectivos resultados para o carvão ativado do endocarpo do coco de dendê.

Ordem dos experimentos	Estabilizante	Granulometria	Nº de orifícios	% Perda de massa
1	(-) Sem	(-) 35 mesh < $\varnothing$ < 28 mesh	(-) 5	68,56
3	(+) Com	(-) 35 mesh < $\varnothing$ < 28 mesh	(-) 5	57,15
5	(-) Sem	(+) $\varnothing$ > 28 mesh	(-) 5	61,35
7	(+) Com	(+) $\varnothing$ > 28 mesh	(-) 5	62,78
8	(-) Sem	(-) 35 mesh < $\varnothing$ < 28 mesh	(+) 15	76,40
6	(+) Com	(-) 35 mesh < $\varnothing$ < 28 mesh	(+) 15	63,86
4	(-) Sem	(+) $\varnothing$ > 28 mesh	(+) 15	69,55
2	(+) Com	(+) $\varnothing$ > 28 mesh	(+) 15	61,14
Eppendorf				53,64

Fonte: AUTOR, 2022.

Tabela 5. Condições utilizadas no planejamento fatorial 2³ e seus respectivos resultados para o carvão do tronco do coqueiro.

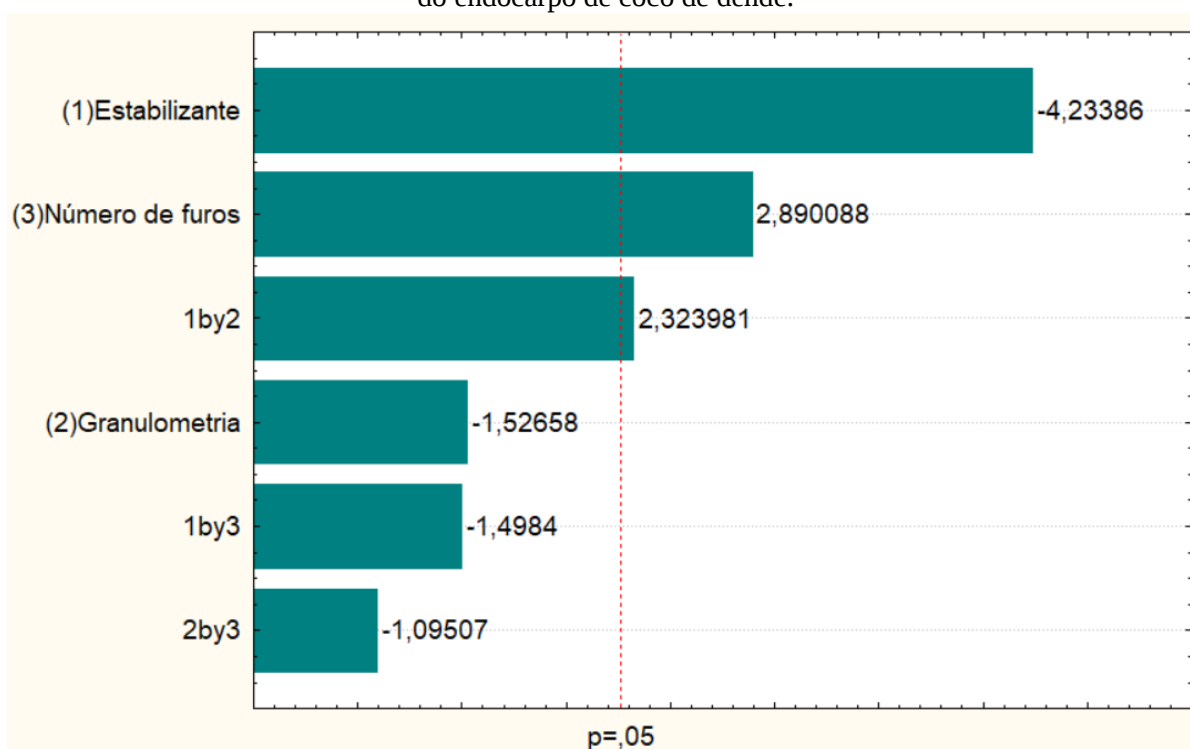
Ordem dos experimentos	Estabilizante	Granulometria	Nº de orifícios	% Perda de massa
1	(-) Sem	(-) 35 mesh < $\varnothing$ < 28 mesh	(-) 5	62,39
3	(+) Com	(-) 35 mesh < $\varnothing$ < 28 mesh	(-) 5	56,00
5	(-) Sem	(+) $\varnothing$ > 28 mesh	(-) 5	51,40
7	(+) Com	(+) $\varnothing$ > 28 mesh	(-) 5	53,72
8	(-) Sem	(-) 35 mesh < $\varnothing$ < 28 mesh	(+) 15	60,48
6	(+) Com	(-) 35 mesh < $\varnothing$ < 28 mesh	(+) 15	52,22
4	(-) Sem	(+) $\varnothing$ > 28 mesh	(+) 15	66,37
2	(+) Com	(+) $\varnothing$ > 28 mesh	(+) 15	56,00
Eppendorf				53,64

Fonte: AUTOR, 2022.

A partir da análise do planejamento experimental, obteve-se o Diagrama de Pareto para ambas as biomassas, Figuras 14 e 15, sendo possível avaliar os efeitos das variáveis e suas interações. Neste diagrama, os efeitos que estiverem à direita da linha vermelha tracejada ($p = 0,05$) são considerados significativos para o nível de confiança estudado, pois os experimentos foram realizados com 95 % de confiança, considerando apenas 5 % de erro associado aos mesmos.

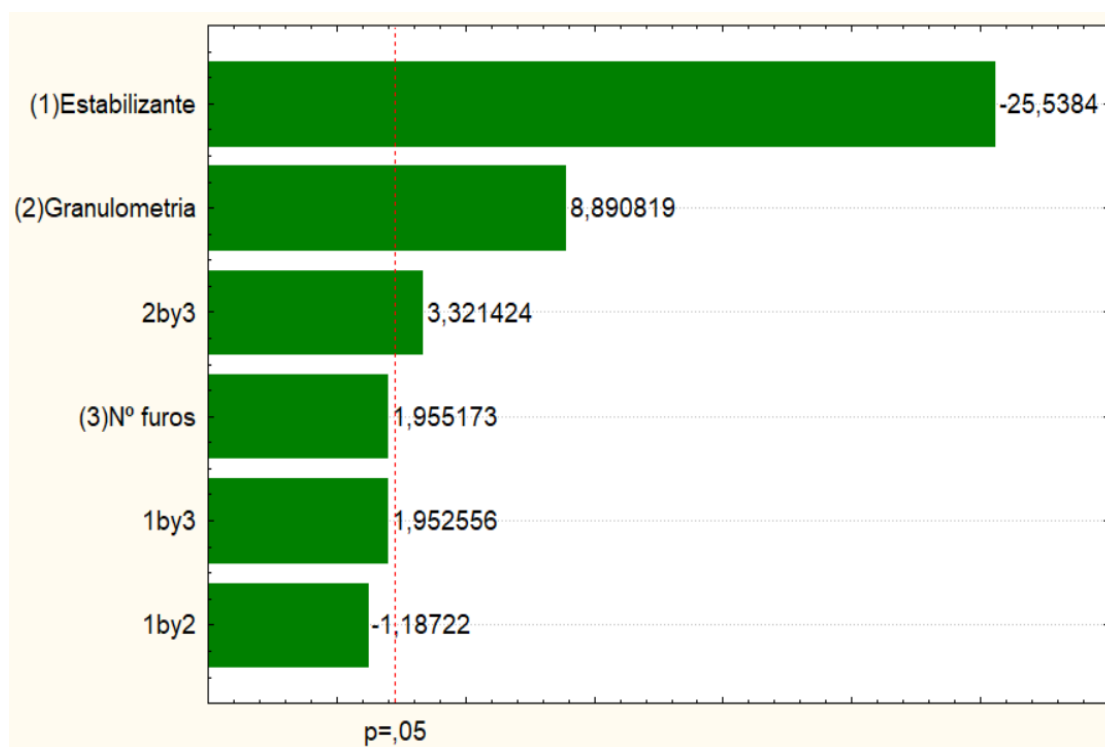
Portanto, mediante os cálculos dos efeitos dos fatores e das interações entre eles, podemos avaliar, para um nível de confiança de 95 %, que o uso do estabilizante exerceu a maior influência no processo de dessorção do rincoforol em ambas as biomassas, esse resultado já era previsto, visto que, o estabilizante diminui o nível de volatilidade do Rincoforol. O segundo fator de influência foi o número de furos para o carvão ativado do endocarpo do coco de dendê, e a granulometria para o carvão do tronco do coqueiro. Observar que a interação entre o fator 1 e 2 influencia o processo para o carvão ativado do endocarpo do coco de dendê, enquanto a interação entre os fatores 2 e 3 exerce influência no processo de liberação do feromônio incorporado ao carvão do tronco do coqueiro. Os demais fatores e as interações entre eles não apresentaram influência significativa ao processo de liberação do Rincoforol adsorvido.

Figura 14. Diagrama de Pareto obtido a partir do planejamento experimental 2^3 para o carvão ativado do endocarpo de coco de dendê.



Fonte: AUTOR, 2021.

Figura 15. Diagrama de Pareto obtido a partir do planejamento experimental 2^3 para o carvão do tronco do coqueiro.



Fonte: AUTOR, 2021.

5.6.2 Tratamento e análise dos dados de cinética

No tratamento e análise dos dados de cinética, foram utilizados os modelos de Lewis e Page, mostrados nas equações 1 e 2, com auxílio do *software* Statistica 8.0, onde foi encontrada a taxa de liberação do Rincoforol (X_r), em concordância com o tempo (t) em que as massas dos sachês foram aferidas, assim como a constante k , relacionada a secagem. A forma de escolha do modelo de melhor adequação foi a análise dos valores do coeficiente de determinação (R^2), optando sempre pelo maior valor, sendo este o de melhor ajuste.

A partir do ajuste realizado, foram construídas as Tabelas 6 e 7, dispostas abaixo, constando os valores dos parâmetros dos modelos de Lewis e Page que foram ajustados aos dados experimentais da cinética de perda de massa para as diferentes condições que foram analisadas.

Tabela 6. Parâmetros dos modelos de Lewis e Page com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) para o carvão ativado do endocarpo de coco de dendê

Condição	Modelo	k	n	R^2
1	Lewis	0,0945	-	0,9358
	Page	0,2129	0,6965	0,9723
3	Lewis	0,1438	-	0,8873
	Page	0,3813	0,5644	0,9875
5	Lewis	0,2182	-	0,8398
	Page	0,5514	0,4978	0,9764
7	Lewis	0,3568	-	0,8731
	Page	0,6195	0,5766	0,9397
8	Lewis	0,3920	-	0,9178
	Page	0,6864	0,5203	0,9926
6	Lewis	0,3443	-	0,9195
	Page	0,6330	0,5198	0,9920
4	Lewis	0,3369	-	0,8961
	Page	0,6551	0,5083	0,9870
2	Lewis	0,5965	-	0,9243
	Page	0,8548	0,5225	0,9758
Eppendorf	Lewis	0,0191	-	0,9720
	Page	0,0335	0,8553	0,9827

Fonte: AUTOR, 2022.

Tabela 7. Parâmetros dos modelos de Lewis e Page com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) para o carvão do tronco do coqueiro.

Condição	Modelo	k	n	R^2
1	Lewis	0,0396	-	0,9592
	Page	0,0547	0,9051	0,9620
3	Lewis	0,0691	-	0,9529
	Page	0,0919	0,9037	0,9553
5	Lewis	0,0309	-	0,9580
	Page	0,0405	0,9244	0,9598
7	Lewis	0,0426	-	0,9537
	Page	0,0791	0,8148	0,9663
8	Lewis	0,0836	-	0,9558
	Page	0,1122	0,8943	0,9585
6	Lewis	0,0940	-	0,9186
	Page	0,2183	0,6797	0,9568
4	Lewis	0,0688	-	0,9676
	Page	0,0951	0,8899	0,9708
2	Lewis	0,1065	-	0,9467
	Page	0,2063	0,7402	0,9694
Eppendorf	Lewis	0,0191	-	0,9720
	Page	0,0335	0,8552	0,9827

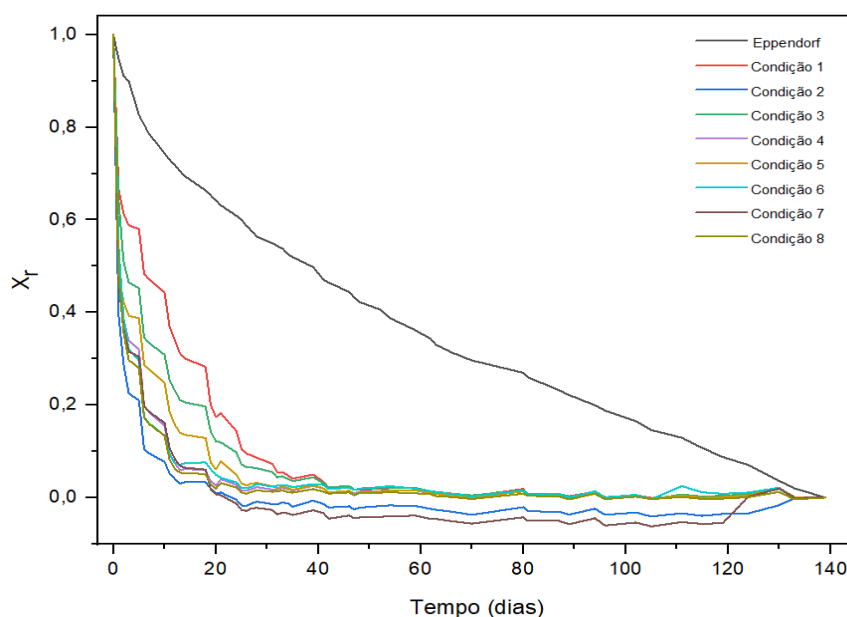
Fonte: AUTOR, 2022.

Realizando uma análise no coeficiente de determinação (R^2) apresentados nas Tabelas 6 e 7, optando sempre pelo maior valor obtido, pois, este coeficiente varia de 0 à 1, e quanto mais próximo a 1, haverá uma maior força de relação entre os dados observados e os estimados, e com isso obtêm-se o melhor ajuste de modelo, ou seja, acima de 0,95, conclui-se que é preferível utilizar-se do modelo de Page ao estimar curvas de decaimento de massa para o Rincoforol adsorvido em carvão ativado do endocarpo do coco de dendê e do tronco do coqueiro, quando comparado ao modelo de Lewis. Os valores de R^2 foram superiores a 0,95 em quase todas as condições quando utilizado o modelo de Page, (exceto na condição 7 no carvão do endocarpo do coco de dendê). A condição 8 no carvão ativado do endocarpo do coco de dendê obteve o coeficiente de correlação quadrático mais próximo a 1, entretanto, no do tronco do coqueiro foi a condição 4.

Uma outra hipótese que seria esperada, e que ocorreu, foi o fato de haver um menor decaimento de massa em sachês com 5 furos, do que em sachês com 15 furos, e isto se comprova nos valores de k serem crescentes ao passar do nível inferior para o nível superior, onde os parâmetros k e n representam o efeito das condições externas atuando no decaimento de massa.

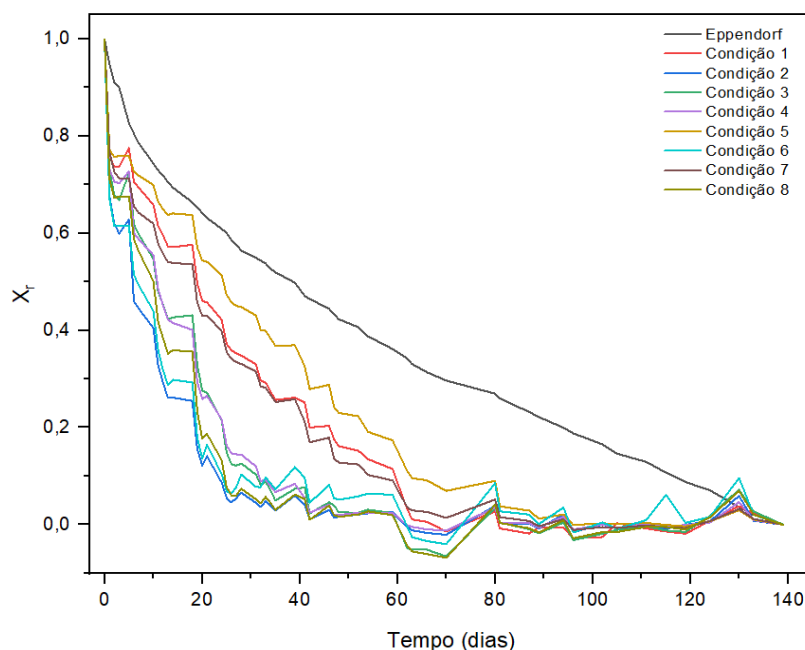
Para realizar uma melhor visualização do decaimento de massa do Rincoforol nos sachês e realizar uma melhor comparação entre as condições com o eppendorf, foram construídas as Figuras 16 e 17 com o auxílio do software Microsoft Excel 2010, representando de uma forma mais ilustrativa a cinética de perda de massa adimensional em função do tempo para os carvões do endocarpo de coco de dendê e do tronco do coqueiro

Figura 16. Gráfico de decaimento de massa de Rincoforol em carvão ativado do endocarpo do coco de dendê.



Fonte: AUTOR, 2022.

Figura 17. Gráfico de decaimento de massa de rincoforol em carvão do tronco do coqueiro.



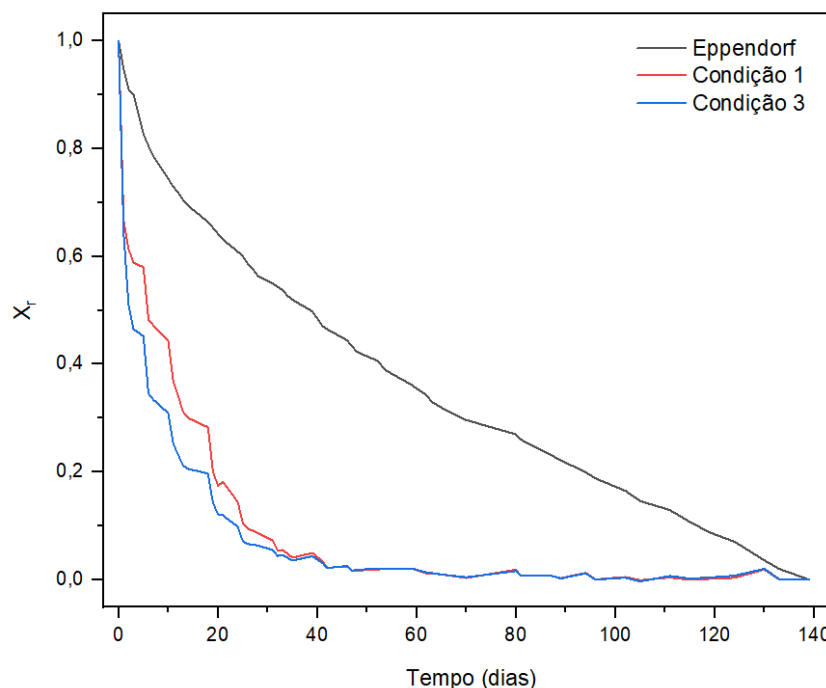
Fonte: AUTOR, 2022.

Na Figura 16, que representa o gráfico de decaimento de massa de Rincoforol em carvão ativado do endocarpo do coco de dendê as condições 1 e 3 (k igual a 0,2129 e 0,3813, respectivamente) foram as que mais se assemelharam ao comportamento do eppendorf. Já na Figura 17, que representa o gráfico de decaimento de massa de Rincoforol em carvão do tronco do coqueiro, foram as condições 1 e 5 (k igual a 0,0547 e 0,0405), e isso se comprova no fato dessas condições terem os menores valores de k de acordo com o modelo Page, como pode ser visto na Tabela 6 e 7, justificando o comportamento da curva.

5.6.3 Método de liberação por eppendorf

Como as condições 1 e 3 no carvão do endocarpo do coco de dendê foram as que apresentaram as curvas o mais próximo da curva do eppendorf, foi construída a Figura 18 para realizar uma melhor ilustração do caso e comparação dos perfis de decaimento.

Figura 18. Comparação entre o decaimento de massa do rincoforol utilizando o método experimental (condição 1 e 3) com o método do eppendorf no carvão ativado de endocarpo de coco de dendê



Fonte: AUTOR, 2022.

Apesar da curva da condição 1 mais se aproximar da curva do eppendorf, foi a condição 3 foi que teve a maior aproximação da liberação de Rincoforol apresentada pelo eppendorf, cuja perda de massa foi de 57,15 %. Pode-se justificar esse resultado pelo fato de o experimento utilizar o estabilizante combinado ao feromônio, o que favorece a sua liberação lenta. Além disso, o carvão da condição 3 era de menor granulometria, apresentando maior área superficial, favorecendo uma maior eficiência de adsorção do rincoforol no carvão ativado; e de menor número de furos, o que ofereceu uma maior retenção do rincoforol no sistema, resultados também encontrados no estudo realizado pelos autores Meneses *et al* (2021).

Para realizar uma melhor análise dos parâmetros referentes ao método de liberação por eppendorf à condição 3, foi construída a Tabela 8, com os valores de k e R^2 , obtidos a partir dos modelos de Lewis e Page, com enfoque na condição que apresentou menor porcentagem de perda de massa, condição 3.

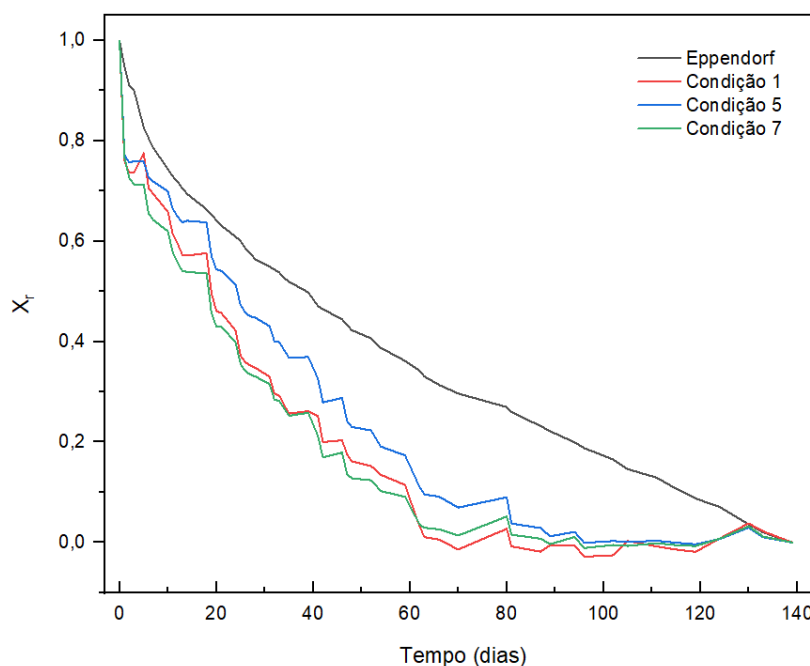
Tabela 8. Parâmetros referentes ao método de liberação por eppendorf e à condição 3 (com estabilizante, granulometria de 35 mesh < ϕ < 28 mesh e sachê com 5 furos), pelo modelo de Lewis e Page

Modelo		k	R^2
Lewis	Condição 3	0,1438	0,8873
	Eppendorf	0,0191	0,9720
Page	Condição 3	0,3813	0,9875
	Eppendorf	0,0335	0,9827

Fonte: AUTOR, 2022.

Tratando-se do carvão do tronco do coqueiro, a condição 5 (sem estabilizante, granulometria de $\phi > 28$ mesh e 5 furos no sachê) apresentou uma menor perda de massa, de 51,40 %, no período avaliado, comparou-se o seu perfil de decaimento de massa com o do eppendorf, conforme apresentado na Figura 19, também foi comparado com a condição 1 e 7.

Figura 19. Comparação entre o decaimento de massa do rincoforol utilizando o método experimental (condição 1, 5 e 7) com o método do eppendorf no carvão do tronco do coqueiro.



Fonte: AUTOR, 2022.

A condição 5 foi a que teve a maior aproximação com a liberação de Rincoforol da realizada pelo eppendorff, cuja perda de massa foi de 51,40 %. Pode-se justificar esse resultado pelo fato da alta volatilidade do Rincoforol quando não está com o estabilizante e a fatores climáticos como a temperatura e a umidade, assim como foi visto no estudo realizado por Nielsen et al. (2019).

A Tabela 9 traz com maior enfoque os valores de k e R^2 , obtidos a partir dos modelos de Lewis e Page para a condição que apresentou menor porcentagem de perda de massa, condição 5, quando comparado ao eppendorf.

Tabela 9. Parâmetros referentes ao método de liberação por eppendorf e à condição 5 (sem estabilizante, granulometria de $\varnothing > 28$ mesh e sachê com 5 furos), pelo modelo de Page.

Modelo		k	R^2
Lewis	Condição 5	0,0309	0,9580
	Eppendorf	0,0191	0,9720
Page	Condição 5	0,0406	0,9598
	Eppendorf	0,0335	0,9827

Fonte: AUTOR, 2022.

Com isso, analisando os valores apresentados nas tabelas 9 e 10, para o carvão ativado do endocarpo do coco de dendê e para o carvão do tronco do coqueiro, tanto para o modelo de Lewis, quanto para Page, o eppendorf apresentou uma liberação mais prolongada e controlada do que as melhores condições dos carvões. Verificou-se também, quando comparados, que a perda de massa no carvão do tronco do coqueiro está mais próxima do eppendorf, do que o carvão ativado do endocarpo do coco de dendê. Contudo, ambos os carvões se apresentam como alternativas viáveis para atuarem como matrizes sólidas na liberação controlada de Rincoforol.

6. CONCLUSÃO

Diante do estudo realizado, pode-se afirmar que tanto o carvão ativado do endocarpo do coco de dendê, quanto o do tronco do coqueiro apresentam alto potencial para atuarem como matrizes sólidas para liberação controlada do feromônio Rincoforol. Mas quando comparados, o carvão do tronco do coqueiro apresenta valores de perda de massa mais próximos ao encontrado pelo eppendorf, sendo assim, a melhor biomassa entre ambos.

Tratando-se das variáveis analisadas no planejamento experimental realizado, verificou-se que o uso de estabilizante favorece uma liberação mais controlada do feromônio, aliado ao menor número de furos no sachê e com a menor granulometria do carvão. A análise dessas três variáveis é de fundamental importância no estudo de liberação de feromônios em matrizes sólidas, pois afetam diretamente nos resultados que são obtidos.

Quando comparamos os sachês com o eppendorf, verifica-se que o eppendorf possui uma liberação mais controlada do feromônio ao longo do tempo, do que os carvões das biomassas, devido ao fato de possuir apenas um furo na tampa do eppendorf e os sachês possuírem mais furos, contribuindo para uma menor liberação do feromônio, reduzindo desta forma a taxa de emissão.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA EMBRAPA DE INFORMAÇÕES TECNOLÓGICAS - AGEITEC. **Broca-do-olho-do-coqueiro**. Aracaju, SE. Disponível em:
<<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/coco/arvore/CONT000gl5lpwbo02wx5ok0xkgyq5hp0186q.html>>.
- AMBROGI, B. G.; VIDAL, D. M.; ZARBIN, P. H. G.; ROSADO-NETO, G. H. **Feromônios de agregação em Curculionidae (Insecta: Coleoptera) e sua implicação taxonômica**. Química Nova, v. 32, p. 2151-2158, 2009.
- Anel-Vermelho da Palma de Óleo**. [s.l.: s.n.]. Disponível em:
<<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1059552/1/Doc425Ainfo.pdf>>. Acesso em: 1 jun. 2022.
- ANDRADE, R. G. S. A. **Estudo da adsorção do fenol em colunas de leito fixo utilizando carvão ativado do endocarpo do coco de dendê**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Gradação em Engenharia Química) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2018.
- ARAÚJO JUNIOR, J. V.; ARAÚJO, R. G. V.; SABINO, A. R.; SILVA JUNIOR, V. A.; DANTAS, P. C.; DUARTE, A. G. **Associação de Bursaphelenchus cocophilus ao Rhynchophorus palmarum e Metamasius hemipterus em plantios de coqueiro no estado de Alagoas**. Revista da Universidade Estadual de Alagoas, a. 10, v. 2, 2018.
<https://doi.org/10.17648/ambientale.v2i2.176>.
- BATISTA, A. Í. S.; **Aplicação de um secador convectivo assistido por aquecimento infravermelho para a secagem de sementes de maracujá-amarelo**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química, Universidade Federal de Sergipe, 2021.
- BEZERRA, L. T. C. N.; DOMELAS, C. B. **Desenvolvimento de nanossistema para controle da liberação do feromônio de agregação rincoforol**. 73ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC). Juiz de Fora, 2021.
- BOARI, A. J.; GOMES JUNIOR, R. A.; TINOCO, R. A.; PINA, A. J. A. **Anel-vermelho da palma de óleo**. Embrapa Amazônia Oriental, p. 59, 2016.
- BRAINER, M. S. C. P.; XIMENES, L. F. **Produção de coco – soerguimento das áreas tradicionais do Nordeste**. Caderno Setorial Etene, a. 5, n. 127, 2020.
- CAMBUIM, K. B. **Carvão de endocarpo de coco da baía ativado quimicamente com H₃PO₄ e fisicamente com vapor d'água: produção, caracterização e aplicações**. 2009. Tese (Doutorado em Química analítica) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2009.

CAVALCANTE, A. M. DE M. et al. **Modelos de predição da cinética de secagem dos grãos da algaroba**. Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 3, p. 11192–11209, 2020.

CARVALHO, R. R. C.; WARWICK, D. R. N.; SOUZA, P. E.; FILHO, J. L. S. C. **Longevidade de Thielaviopsis paradoxa, agente causal da resinose do coqueiro em Rhynchophorus palmarum**. Scientia Plena, v. 7, p. 4. 2011.

COSTA, F. M. A. S. **Utilização de resíduo de grãos de cervejaria na adsorção do corante reativo azul 5g em soluções aquosas: sistemas batelada e leito fixo**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2020.

CYSNE, A. Q.; CRUZ, B. A.; CUNHA, R. N. V.; ROCHA, R. N. C. **Flutuação populacional de Rhynchophorus palmarum (L.) (Coleoptera: Curculionidae) em palmeiras oleíferas no Amazonas**. Acta Amazonica, v. 43, n. 2, p. 197-202, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672013000200010>.

DAYANE, S.; DE CARVALHO. **Universidade Estadual de Maringá Centro de Tecnologia Departamento de Engenharia Química Pós-Graduação em Engenharia Química Estudo da Dessorção Seletiva do Corante Reativo em Carvão Ativado**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/bitstream/1/3741/1/000207904.pdf>

DEDAVID, B. A.; GOMES, C. I.; MACHADO, G. **Microscopia eletrônica de varredura: Aplicações e preparação de amostras**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007. 60p.

DUARTE, A. G.; LIMA, I. S. **Eficiência de diferentes taxas de liberação do feromônio de agregação na captura de Rhynchophorus palmarum L (Coleoptera: Curculionidae)**. Neotropical Entomology, v. 30, p. 217-221, 2001.

DURAL, M. U.; CAVAS, L.; PAPAGEORGIOU, S. K.; KATSAROS, F. K. **Methylene blue adsorption on activated carbon prepared from Posidonia oceanica (L.) dead leaves: Kinetics and equilibrium studies**. Chemical Engineering Journal, v. 168, p. 77-85, 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL. **Anel-vermelho da Palma de Óleo**. Disponível em: <http://www.abrapalma.org/pt/wp-content/uploads/2016/12/Anel_Vermelho_Embraapa.pdf>

FERREIRA, J. M. S.; TEODORO, A. V.; NEGRISOLI JUNIOR, A. S.; GUZZO, E. C. **Manejo integrado da broca-do-olho-do-coqueiro Rhynchophorus palmarum L. (Coleoptera: Curculionidae)**. Aracaju: Embrapa, 2014. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1014401/manejo-integrado-da-broca-do-olho-do-coqueiro-rhynchophorus-palmarum-l-coleoptera-curculionidae>. Acesso em: 08 nov. 2021.

FICHA DE INFORMAÇÃO DE SEGURANÇA DE PRODUTOS QUÍMICOS EM ACORDO COM A NBR-14725 – FIPQ. **Rincoforol**. Disponível em: <<http://www.interactaquimica.com.br/downloads/Ficha-de-Informacao-de-Seguranca-de-Produtos-Quimicos-em-acordo-com-a-NBR-14725.pdf>>

FONTES, H. R.; FERREIRA, J. M. S.; SIQUEIRA, L. A. **Sistema de Produção para a Cultura do Coqueiro**. Sistemas de Produção, 63 p., 2002.

FREITAS, J. D.; CAVALCANTE, S. K. M.; SANTOS, E. D.; ANTUNES, L. O.; FREITAS, A. J. D.; FREITAS, M. L.; GOULARD, H. F.; SANTANA, A. E. G. **Padronização da síntese dos principais constituintes feromonais de insetos dos gêneros *Metamasius* e *Rhynchophorus***. Holos, a. 27, v. 2, 2011.

GUEDES, A. M. M.; FARIA, L. J. G. **Determinação da constante de secagem de urucum (*Bixa orellana* L.) em secador convectivo de leito fixo**. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, v. 2, p. 73-86, 2000.

HOFFMANN, S. **Caracterização físico-química do caroço do dendê visando futuras aplicações**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2016.

IP, A. W. M.; BARFORD, J. P.; MCKAY, G. Reactive Black dye adsorption/desorption onto different adsorbents: effect of salt, surface chemistry, pore size and surface area. Journal of colloid and interface science, v. 337, n. 1, p. 32-8, 2009.

MARQUES, L. G. **Liofilização de frutas tropicais**. Tese de Doutorado em Ciências Exatas e da Terra. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos. São Paulo. 2008.

MARTINS, C. B. C. **Semioquímicos envolvidos nas interações intra e interespecíficas de *Oryzophagus oryzae* (Lima, 1936) (Coleoptera: Curculionidae) e *Thaumastocoris peregrinus* Carpintero & Dellapé, 2006 (Heteroptera: Thaumastocoridae)**. Tese de Doutorado em Ciências, Universidade Federal do Paraná, 2013.

MELO, D. Q. **Uso de resíduos lignocelulósicos ativado como adsorventes na remoção de íons metálicos tóxicos: estudos de batelada e coluna utilizando planejamento experimental**. 2015. Tese (Doutorado em Química), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

MENESES, A. T.; SANTOS, M. A.; MELO, L. L. A.; BRANDÃO, R. J.; SOLETTI, J. I.; GOULART, H. F. **Estudo de liberação do Rincoforol adsorvido em carvão ativado do endocarpo do coco de dendê**. Diversitas Journal, v. 6, n. 2, p. 2421-2436, 2021. <https://doi.org/10.17648/diversitas-journal-v6i2-1686>

MILOSAVLJEVIC, I.; EL-SHAFIE, H. A. F.; FALEIRO, J. R.; HODDLE, C. D.; LEWIS, M.; HODDLE, M. S. **Palmageddon: the wasting of ornamental palms by invasive palm weevils, *Rhynchophorus* spp.** Journal of Pest Science, p. 143-156, 2019.

NAVARRO, D. M. A. F.; MURTA, , M. M.; DUARTE, A. G.; LIMA, I. S.; NASCIMENTO, R. R.; SANT'ANA, A. E. G. **Aspectos práticos relacionados ao uso do Rincoforol, o feromônio de agregação da broca-do-olho-do-coqueiro *Rhynchophorus palmarum* L. (Cuineenses: curculionidae) no controle de pragas do coqueiro. Análise de sua eficiência em campo.** Química Nova, v. 25, n. 1, p. 32-36, 2002. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422002000100007>.

NIELSEN, M.; SANSOM, C. E.; LARSEN, L.; WORNER, S. P.; ROSTÁS, M.; CHAPMAN, R. B.; BUTLER, R. C.; KOGEL, W. J.; DAVIDSON, M. M.; PERRY, N. B.; TEULON, D. A. J. **Volatile compounds as insect lures: factors affecting release from passive dispenser systems.** New Zealand

PEDROZA, M. M. **Bio-óleo e biogás da degradação termoquímica de lodo de esgoto doméstico em cilindro rotativo.** 2011. 114f. Tese (Doutorado em Química) - Programa de Pós - Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

PEDROZA, M. M., et al. **Balanço energético da pirólise de lodo de esgoto: uma abordagem das propriedades termodinâmicas do processo.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 18., Foz do Iguaçu: Anais... Foz do Iguaçu: ABEP, 2010. p. 1 – 8.

RAMOS, I. G. **Zeólitas como dispositivo de liberação prolongada de rincoforol.** 2012. Tese (Doutorado em Química Analítica), Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2012.

RAMOS, I. G.; VIANA, A. C.; SANTOS, E. L.; MASCARENHAS, A. J. S.; SANT'ANA, A. E. G.; GOULART, H. F.; DRUZIAN, J. I.; ANDRADE, H. M. C. **Synthesis, characterization and evaluation of MFI zeolites as matrixes for rhynchophorol prolonged release.** Microporous and Mesoporous Materials, n. 242, p. 99-108, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2016.12.034>.

ROCHAT, D.; MALOSSE, C.; LETTERE, M.; DUCROT, P.-H.; ZAGATTI, P.; RENOU, M.; DESCOINS, C. **Male-Produced Aggregation Pheromone of the American Palm Weevil, *Rhynchophorus palmarum* (L.) (Coleoptera, Curculionidae): Collection, Identification, Electrophysiological Activity, and laboratory Bioassay.** Journal of Chemical Ecology, v. 17, n. 11, p. 2127-2141, 1991.

SILVA, E. M.; AZEVEDO, J. A. **Influência do período de centrifugação na curva de retenção de água em solos de Cerrado.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, vol. 37, no 10, outubro de 2002, p. 1487–94. SciELO. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2002001000017>

SANTOS, D. C.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; OLIVEIRA, E. N. A. **Cinética de secagem de farinha de grãos residuais de urucum.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 17, n. 2, p. 223–231, 2013.

TIGLIA, E; A.; VILELA, E. F.; MOURA, J. I. L.; ANJOS, N. **Eficiência de armadilhas com feromônio de agregação e cana-de- açúcar na captura de *Rhynchophorus palmarum* (L.)**. Na. Soc. Entomol. Brasil, v. 27, n. 2, p. 177-183, 1998. <https://doi.org/10.1590/S0301-80591998000200002>.

VIANA, A. C. 2018. **Matrizes para liberação controlada do feromônio de agregação rincoforol**. Tese (Doutorado em Biotecnologia), Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2018.

VIANA, A. C.; RAMOS, I. G.; SANTOS, E. L.; MASCARENHAS, A. J. S.; LIMA, M. S.; SANT'ANA, A. E. G.; DRUZIAN, J. I. **Validation of analytical method for rhynchophorol quantification and stability in inorganic matrix for the controlled release of this pheromone**. Chemistry Central Journal, v. 12, n. 54, p. 1-9, 2018. <https://doi.org/10.1186/s13065-018-0426-1>.

ZARBIN, P. H. G.; RODRIGUES, M. A. C. M.; LIMA, E. R. **Feromônios de insetos: tecnologia e desafios para uma agricultura competitiva no Brasil**. Química Nova, v. 32, n. 3, p. 722–731, 2009.