

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS – UEA
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA – EST
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA

YVES NATHAN MELO DE FARIA

INFLUÊNCIA DA CINÉTICA DE SECAGEM NA OBTENÇÃO DE PONTOS
DE CARBONO A PARTIR DA CASCA DA BANANA PRATA
(Musa acuminata Cavendish)

MANAUS

2023

YVES NATHAN MELO DE FARIA

**INFLUÊNCIA DA CINÉTICA DE SECAGEM NA OBTENÇÃO DE PONTOS
DE CARBONO A PARTIR DA CASCA DA BANANA PRATA**

(Musa acuminata Cavendish)

**Monografia apresentada ao Curso de Graduação em
Engenharia Química da Escola Superior de
Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas,
para obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Química.**

Orientadora: Profa. Dra. Kiki Pinheiro Melo Braga

Coorientadora: Profa. Dra. Ellen Raphael

MANAUS

2023

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Sistema Integrado de Bibliotecas da Universidade do Estado do Amazonas.

F224ii Faria, Yves Nathan Melo de
Influência da cinética de secagem na obtenção de pontos de carbono a partir da casca da banana prata (*Musa acuminata Cavendish*) / Yves Nathan Melo de Faria.
Manaus : [s.n], 2023.
57 f.: color.; 30 cm.

TCC - Graduação em Engenharia Química -
Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2023.
Inclui bibliografia
Orientador: Kiki Pinheiro Melo Braga
Coorientador: Ellen Raphael

1. banana. 2. casca. 3. secagem. 4. espectroscopia.
5. microscopia. I. Kiki Pinheiro Melo Braga (Orient.).
II. Ellen Raphael (Coorient.). III. Universidade do Estado do Amazonas. IV. Influência da cinética de secagem na obtenção de pontos de carbono a partir da casca da banana prata (*Musa acuminata Cavendish*)

YVES NATHAN MELO DE FARIA

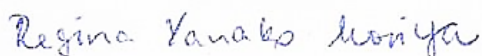
**INFLUÊNCIA DA CINÉTICA DE SECAGEM NA OBTENÇÃO DE
PONTOS DE CARBONO A PARTIR DA CASCA DA BANANA
PRATA (*Musa acuminata Cavendish*)**

**Monografia apresentada ao Curso de
Graduação em Engenharia Química da
Escola Superior de Tecnologia da
Universidade do Estado do Amazonas,
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Química.**

Banca Examinadora:



Profa. Dra. Kiki Pinheiro Melo Braga – Orientadora



Profa. Dra. Regina Yanako Moriya – UEA



Profa. Dra. Siomara Dias da Rocha – FUCAPI

Conceito: Aprovado

Manaus, 21 de agosto de 2023

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais que, além de incentivarem, promoveram o melhor para durante toda a caminhada acadêmica, com apoio, afeto e compreensão.

Aos amigos de turma, especialmente aos Amaury Vieira, Eduarda Rodrigues e Idaline Barbosa, que sempre se fizeram presentes não só em momentos de ensinamentos, mas também de descontração.

Às minhas orientadoras Kiki Pinheiro e Ellen Raphael, pelo aceite deste desafio, dedicação e amizade.

Aos corpos docente e técnico do curso pelos ensinamentos que possibilitaram desenvolvimento na formação profissional e pela ajuda e paciência que guiaram meu aprendizado.

Aos laboratório Química Aplicada à Tecnologia, Centro Multiusuário para Análises de Fenômenos Biomédicos e Grupo de Pesquisa em Química de Materiais, pela disposição da utilização de equipamentos necessários para a realização deste trabalho.

À Universidade do Estado do Amazonas por prover tudo que foi essencial durante o processo de formação profissional ao longo dos anos.

Aos Governo do Estado do Amazonas e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) que, através do Programa Amazônidas, disponibilizaram recursos que possibilitaram desenvolver grande parte deste trabalho.

RESUMO

Os pontos quânticos são materiais de tamanhos nanométricos que possuem notáveis propriedades eletrônicas e ópticas. Entretanto, parte deles é sintetizada a partir de materiais tóxicos, o que restringe sua utilização. Os pontos de carbono são surgem como substitutos, visto que são obtidos a partir de materiais carbonosos, que, além de numerosos, são baratos. Uma fonte de alternativa na obtenção de pontos de carbono é a casca da banana prata (*Musa acuminata Cavendish*), que conta com o despejo no meio ambiente de cerca de 36 milhões de toneladas/ano e com reaproveitamento quase nulo, provocando desequilíbrio ecológico. Desta forma, com vista à reutilização dessa biomassa residual e consequente redução do impacto ambiental, este trabalho teve por objetivo verificar a influência da cinética de secagem na obtenção de pontos de carbono a partir da casca da banana prata. O processo foi feito, em temperatura fixa de 60° C, variando o tempo em 6, 12 e 24 horas de secagem. Após a secagem, as amostras passaram por moagem, peneiramento e síntese de pontos de carbono via reação hidrotermal e carbonização por mufla. Seguiu-se com centrifugação, filtração, e, por fim, análises por: comparação, com incidência de luzes LED branca e negra ultravioleta, e caracterização, por espectroscopias e microscopia. As curvas de cinética de secagem indicaram presença de 88% de umidade e que o segundo período da taxa de decrescente foi o predominante para os três tempos de secagem. Na avaliação por comparação, as amostras progrediram para tons mais claros, as por via hidrotermal de forma sutil e as por carbonização de forma brusca. Além disso, todas as amostras apresentaram fotoluminescência. Na análise por caracterização, a espectroscopia de absorção indicou grande diferença entre as rotas de síntese, mas pequena quanto ao tempo de secagem. A de emissão apontou deslocamento da curva de emissão quando incididas por diferentes comprimentos de onda de excitação e grande influência tanto entre as rotas quanto no tempo de secagem. A de infravermelho por transformada de Fourier levou a concluir que as amostras possuem grupos funcionais semelhantes aderido às suas superfícies. E, finalmente, a microscopia eletrônica de transmissão exibiu pontos globulares em escalas próximas a 5 nm, o que condiz com a morfologia dos pontos de carbono.

Palavras-chave: banana, casca, secagem, espectroscopia, microscopia.

ABSTRACT

Quantum dots are nanoscale materials with remarkable electronic and optical properties. However, a portion of them is synthesized from toxic materials, which limits their usage. Carbon dots emerge as substitutes since they can be obtained from carbonaceous materials, which are not only abundant but also inexpensive. An alternative source for obtaining carbon dots is the peel of the chunky banana (*Musa acuminata Cavendish*), which contributes to the environment with the disposal of approximately 36 million tons per year, while having almost negligible reutilization, resulting in ecological imbalance. In light of this, with the aim of repurposing this residual biomass and consequently reducing environmental impact, the objective of this study was to assess the influence of drying kinetics on the production of carbon dots from chunky banana peels. The process was conducted at a fixed temperature of 60°C, varying the drying time between 6, 12, and 24 hours. After drying, the samples underwent grinding, sieving, and the synthesis of carbon dots through hydrothermal reaction and muffle furnace carbonization. This was followed by centrifugation, filtration, and, ultimately, analyses including comparison, using both white LED and ultraviolet black light incidence, as well as characterization through spectroscopies and microscopy. The drying kinetics curves indicated the presence of 88% moisture and that the second period of the decreasing rate was predominant for all three drying times. In the evaluation through comparison, the samples progressed to lighter tones, with those obtained via hydrothermal synthesis doing so subtly, and those via carbonization doing so abruptly. Additionally, all samples exhibited photoluminescence. In the characterization analysis, absorption spectroscopy indicated significant differences between synthesis routes, but minimal differences regarding drying time. Emission spectroscopy pointed to a shift in the emission curve when exposed to different excitation wavelengths, with significant influence from both synthesis routes and drying time. Fourier-transform infrared spectroscopy led to the conclusion that the samples possess similar functional groups adhered to their surfaces. Finally, transmission electron microscopy exhibited globular points at scales close to 5 nm, which align with the morphology of carbon dots.

Keywords: banana, peel, drying, spectroscopy, microscopy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Variação da energia de <i>bandgap</i> em função do tamanho do material	14
Figura 2: Representação da estrutura de um ponto de carbono	16
Figura 3: Banana prata (<i>Musa acuminata Cavendish</i>)	18
Figura 4: Representação da movimentação do ar e da água a partir de um material	22
Figura 5: Curva de cinética de secagem em base úmida	24
Figura 6: Divisão de sistemas de secagem	24
Figura 7: Fluxograma do procedimento	26
Figura 8: Banana prata (A) e cascas sob papel toalha para remoção de excesso de água na superfície (B)	27
Figura 9: Bandejas de alumínio com as cascas cortadas para realização do processo de secagem	27
Figura 10: Estufa de circulação forçada e renovação de ar	28
Figura 11: Amostras seladas em embalagens plásticas	29
Figura 12: Embaladora à vácuo caseira	29
Figura 13: Liquidificador Walita	30
Figura 14: Peneira 48 mesh da Bertel	31
Figura 15: Reator hidrotermal e controlador de temperatura da WT Indústria	31
Figura 16: Forno mufla da SolidSteel	32
Figura 17: Banho ultrassônico da Eco-Sonics	33
Figura 18: Filtro para seringa	34
Figura 19: Espectrômetro UV-1800, Shimadzu	34
Figura 20: Microscópio eletrônico de transmissão série Jeol JEM-1400Flash	35
Figura 21: Curva de cinética de secagem de cascas de banana prata para 6h de secagem	36
Figura 22: Curva de cinética de secagem de cascas de banana prata para 12h de secagem	37
Figura 23: Curva de cinética de secagem de cascas de banana prata para 24h de secagem	37
Figura 24: Média das curvas de cinética de secagem de cascas de banana prata	38
Figura 25: Casca de banana seca, moída e peneirada	39
Figura 26: Solução via carbonização por mufla (A) e via reator hidrotermal (B) durante filtração à vácuo	40

Figura 27: Comparação entre amostras à luz LED branca	41
Figura 28: Comparação ao incidir luz ultravioleta	42
Figura 29: Espectroscopia de absorção molecular de PCs sintetizados em reação hidrotermal	43
Figura 30: Espectroscopia de absorção molecular PCs sintetizados em carbonização por mufla	43
Figura 31: Deslocamento da curva de emissão da amostra C3RH a partir de diferentes comprimentos de onda de excitação	44
Figura 32: Deslocamento da curva de emissão da amostra C3MU a partir de diferentes comprimentos de onda de excitação	44
Figura 33: Espectroscopia de emissão de fluorescência de PCs sintetizados em reator hidrotermal	45
Figura 34: Espectroscopia de emissão de fluorescência de PCs sintetizados em carbonização por mufla	46
Figura 35: Espectroscopia IVTF das amostras A1RH e C1RH	47
Figura 36: Micrografias capturadas por MET da amostra C1RH	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição química da banana por 100g.....	19
Tabela 2: Disposição de resíduos sólidos no Brasil	21
Tabela 3: Composição centesimal das casca e polpa da banana em 100g	21
Tabela 4: Massa de casca de banana retida e passante de acordo com a granulometria de 48 mesh	39
Tabela 5: Massa de casca de banana em cada amostra ao iniciar o processo de obtenção de pontos de carbono	40
Tabela 6: Valores de largura à meia altura e valor máximo de intensidade das curva de emissão de fluorescência de pontos de carbono obtidos a partir da casca da banana	46
Tabela 7: Principais vibrações do espectro infravermelho de pontos de carbono obtidos a partir da casca da banana	47

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

CdTe	Telureto de cádmio
CMABio	Centro Multiusuário para Análise de Fenômenos Biomédicos da UEA
DSSC	<i>Dye sensitized solar cell</i>
ESA	Escola Superior de Ciências da Saúde
FL	Espectroscopia eletrônica de emissão de fluorescência
FWHM	<i>Full Width Half Maximum</i>
GaP	Fosforeto de gálio
GPQM	Grupo de Pesquisa em Química de Materiais
IVTF	Infravermelho por transformada de Fourier
MBS	<i>Musa aluminata Balbisiana</i>
MCS	<i>Musa acuminata Cavendish</i>
MET	Microscopia eletrônica de transmissão
MES	<i>Musa acuminata Colla</i>
MU	Reação por mufla
N-CDs	Pontos de carbono dopados com nitrogênio
PbS	Sulfeto de chumbo
PCs	Pontos de carbono
PQs	Pontos quânticos
QAT	Química Aplicada à Tecnologia
RH	Reação hidrotermal
RTA	Reflectância total atenuada
UEA	Universidade do Estado do Amazonas
UFSJ	Universidade Federal de São João del-Rei
UV-vis	Espectroscopia de absorção moléculas no UV-visível

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 PONTOS QUÂNTICOS	14
2.2 PONTOS DE CARBONO.....	15
2.4 BANANA.....	17
2.4.1 Casca da banana	19
2.5 RESÍDUOS ALIMENTARES	20
2.6 SECAGEM.....	22
3 MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1 PREPARO DO MATERIAL.....	26
3.2 OBTENÇÃO DA CURVA DE CINÉTICA DE SECAGEM	28
3.3 PREPARO DOS PONTOS DE CARBONO.....	29
3.3.1 Processamento da Amostra	30
3.3.2 Síntese Hidrotermal	31
3.3.3 Carbonização por Mufla	32
3.4 CARACTERIZAÇÃO DOS PONTOS DE CARBONO	33
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
4.1 SECAGEM.....	36
4.2 PENEIRAMENTO	38
4.3 OBTENÇÃO DOS PONTOS DE CARBONO	40
4.4 ESPECTROSCOPIA NO UV-VISÍVEL	42
4.5 ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO.....	47
4.6 MICROSCOPIA DE TRANSMISSÃO	48
5 CONCLUSÃO	50
6 PERSPECTIVAS	51
REFERÊNCIAS	52
APÊNDICES	55

1 INTRODUÇÃO

Os pontos quânticos são estruturas semicondutores nanocristalinos que possuem tamanho menor que 10 nanômetros. Esses materiais sofrem redução de todas as suas dimensões à nanoescala, logo, por conta deste confinamento quântico, são atribuídas interessantes propriedades eletrônicas e ópticas, que possibilitam aplicações em biomarcadores, emissores de luz, conversores de energia solar. Não obstante a existência “eco-friendly”, a aplicação de pontos quânticos é restrita em razão de parte deles ser sintetizada a partir de materiais tóxicos, como chumbo e cádmio. Devido a isto, algumas alternativas são buscadas sendo o ponto de carbono possível substituto. (Machado et al., 2015)

Os pontos de carbono (PCs), materiais novos, possuem estrutura semelhante a um *core-shell* (núcleo-casca), onde seu núcleo é grafítico com ligações de caráter sp^2 e sua superfície é funcionalizada. Essa funcionalização depende do método de síntese e do material que a origina. Os PCs se fazem presente em fotocatalise, células solares, bioimagem. (Vaz et al., 2015) Vale citar que suas propriedades podem ser aprimoradas a partir da dopagem de um heteroátomo, como nitrogênio, fósforo, enxofre. Tanto é que, de acordo com Rodrigues, Morais, Nogueira (2018), a dopagem com nitrogênio apresenta melhora em uma característica importantíssima, a fluorescência. Um ponto positivo deste material está em ser sintetizado a partir de materiais carbonosos, então há uma grande gama de precursores que podem ser utilizados, como por exemplo a casca da banana. (Vaz et al., 2015)

A casca da banana, de produção abundante na região amazônica, culturalmente, possui reaproveitamento praticamente nulo. Por conta da pouca reutilização, cerca de 36 milhões de toneladas são despejadas no meio ambiente anualmente em todo o planeta. (Zaini et al., 2022) Como possui teores de carboidratos, se lançada no meio aquático, desencadeia aumento de demanda biológica de oxigênio, causando desequilíbrio ecológico. (Neris et al., 2018) Para minimizar estas agressões ao meio ambiente, ela surge com possibilidade inclusive de geração de seu valor agregado.

Segundo Souza (2022), a redução de umidade em um material favorece seu rendimento em processos secos, com baixa perda de energia. Então, a inserção de uma etapa de secagem antes da síntese de pontos de carbono é de fundamental importância para a otimização do processo. Como a casca da banana é rica em potássio, a sua

utilização como material precursor visa a funcionalização da superfície do nanomaterial a partir da dopagem do elemento.

Com o intuito de utilizar a biomassa residual e auxiliar na redução do impacto ambiental, o objetivo geral do trabalho consiste em verificar a influência da cinética de secagem na obtenção de pontos de carbono a partir da casca da banana prata (*Musa acuminata Cavendish*). Já os objetivos específicos, constituem-se de:

1. Realizar de pré-tratamento das cascas da banana;
2. Realizar da cinética de secagem das cascas das bananas em diferentes tempos de secagem;
3. Realizar do controle granulométrico das cascas das bananas trituradas;
4. Comparar, via análise de luz LED branca e negra ultravioleta, do processo de obtenção de pontos de carbono a partir da síntese hidrotermal e da carbonização por mufla;
5. Caracterizar, via espectroscopias e microscopia eletrônica de transmissão, dos pontos de carbono sintetizados por meio da síntese hidrotermal e da carbonização por mufla.

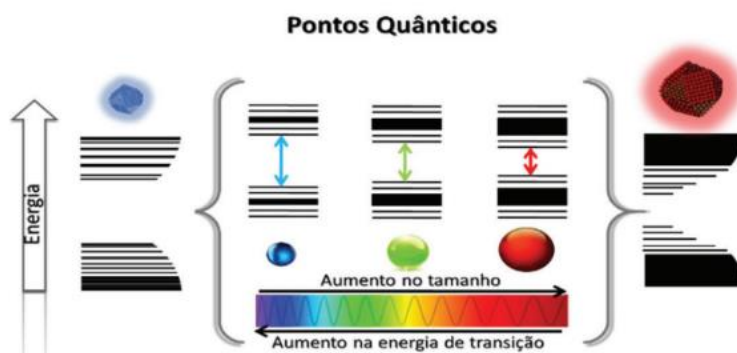
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PONTOS QUÂNTICOS

Os pontos quânticos (PQs) são materiais semicondutores cristalinos com dimensões menores que 10 nanômetros que, após receberem excitação eletromagnética, criam um par de elétron-buraco. Esses materiais sofrem redução à nanoescala nas suas três dimensões do espaço, o que atribui interações ópticas únicas, como grande dependência de emissão de luz em função do tamanho das partículas. (Machado et al., 2015) À medida que os materiais atingem tamanhos nanométricos, há alteração na sua propriedade óptica. Isto ocorre, pois, as interações começam a acontecer em nível atômico, logo, o material começa a absorver comprimentos de onda específicos dependendo da sua grandeza, formato e o tipo de composição. (Machado, 2019) Dessa forma, modificações mínimas no tamanho das partículas podem desencadear alterações na energia de transição, consequentemente, nas características ópticas. (Santos et al., 2020)

O confinamento de buracos e pares de elétrons nas três dimensões gera o aumento de energia de banda proibida (*bandgap*), que está entre aquelas de valência e de condução dos materiais. Quanto menor o tamanho do material, maior será o confinamento dos portadores de carga, logo, maior também a energia de *bandgap*. A emissão e absorção ópticas destes materiais tendem a se deslocarem para a região azul à medida que seus tamanhos reduzem, perpassando por um arco-íris de cores de emissão, desde a região ultravioleta até o infravermelho. Na Figura 1, é possível visualizar a variação de energia de *bandgap* em função do tamanho do material, de maneira que, quanto maior o material, menor será a *bandgap*, também, será menor a energia. (Santos et al., 2020)

Figura 1: Variação da energia de *bandgap* em função do tamanho do material.



Fonte: Santos et al., (2020).

As partículas nanométricas podem ser obtidas a partir dos métodos *Top-down* (cima para baixo) ou *Bottom-Up* (baixo para cima). No primeiro, as nanoestruturas são obtidas a partir de materiais de escala macroscópica, que são desintegrados por meio da quebra das ligações químicas. Este método apresenta desperdício de material e o processo mais utilizado é oxidação eletroquímica. Já no segundo, elas são manipuladas desde os átomos do elemento até a formação da nanopartícula. Exemplos para processos *bottom-up* são tratamento hidrotérmico e pirólise. Porém, por conta da complexidade do trabalho com estruturas em tamanho atômico, o uso do método *Top-Down* se torna mais comum. (Machado, 2019)

Os pontos quânticos são classificados de acordo com os seus elementos constituintes e com os grupos onde estão localizados na tabela periódica. Os elementos podem ser sulfeto de chumbo (PbS), do grupo IV-VI; telureto de cádmio (CdTe), do grupo II-VI e fosforeto de gálio (GaP), do grupo III-V. (Santos et al., 2020) Pode-se perceber que, em alguns tipos de síntese, são utilizados chumbo e cádmio mas, pela sua toxicidade, devem ser evitados. Por conta disso, materiais que apresentem propriedades semelhantes, e livres de toxicidade, estão sendo buscados. (Machado et al., 2015) Os nanomateriais de carbono têm sido bons substitutos, pois, além de apresentar baixa toxicidade, sua preparação advém de materiais carbonosos, que são, em sua maioria, baratos e abundantes na natureza. (Vaz et al., 2015)

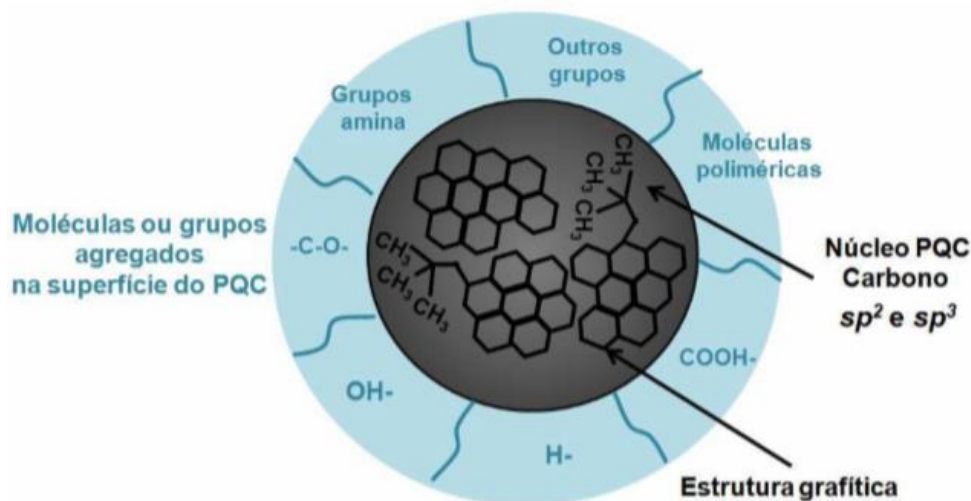
2.2 PONTOS DE CARBONO

Os pontos de carbono (PCs), também chamados de *carbon dots*, *carbon quantum dots*, *carbon nanodots* ou *C-dots*, foram descobertos por Xu et al. (2004), acidentalmente, enquanto era realizado processo de purificação de nanotubos de carbono por eletroforese. Os PCs possuem propriedades como boa solubilidade em água, baixa toxicidade, biocompatibilidade e ótimas propriedades ópticas. (Gao et al., 2022) Atualmente, os nanomateriais de carbono possuem aplicações variadas como em liberação controlada de fármacos, conversão de energia e biossensores. (Vaz et al., 2015)

A estrutura dos *carbon dots*, representada na Figura 2, é semelhante a um *core-shell* (núcleo-casca), onde o núcleo é composto, basicamente, por carbono de caráter sp^2 e sp^3 e a superfície pode ser composta por nitrogênio, oxigênio, materiais poliméricos. Tal

composição é dependente do método de extração e do material precursor. (Vaz et al., 2015)

Figura 2: Representação da estrutura de um ponto de carbono.



Fonte: Machado (2019).

Há diversas metodologias para obtenção de *C-dots*. O método *Top-down* é realizado a partir de compostos carbonáceos maiores como óxido de grafite, nanotubos de carbono, diamante e grafite. No método *Bottom-up*, por sua vez, são utilizados precursores moleculares como glicose, ácido cítrico, que são purificados por meio de procedimentos como diálise, eletroforese, centrifugação ou outra técnica que seja de separação. A síntese de pontos de carbono de alta qualidade em larga escala é dificultada por instrumentação e matéria-prima caras e, também, pelos altos consumos de energia e tempo. Essa dificuldade é mais evidente para metodologias de método *Top-down*, pois no *Bottom-up* há a síntese de nanopartículas com menos defeitos e de composição química mais homogênea. (Machado et al., 2015) Os métodos também são separados em físicos e químicos. Nos processos físicos, têm-se ablação à laser, tratamento com plasma e descarga de arco voltaico. Para métodos químicos, síntese eletroquímica, combustão, hidrotermal e destruição de fulerenos. (Machado et al., 2015)

O desenvolvimento de metodologias está focado na produção de nanopartículas estáveis, biocompatíveis, monodispersas e no controle do tamanho e da morfologia. (Da Silva et al., 2020) A síntese hidrotermal é a única metodologia que cristaliza substâncias a partir de solução aquosa, sob altas temperatura, geralmente 120° C ou maior, e pressão de vapor. O equipamento é composto por aparato de aço inoxidável, chamado de

autoclave, vaso de teflon e controlador de temperatura. Os cristais crescem a partir de um precursor que é inserido no vaso de teflon juntamente com solvente, geralmente água. O vaso, por sua vez, aloca-se no autoclave, o qual fica conectado a um controlador para verificação e manutenção da temperatura. A principal vantagem dessa síntese é que ela é adequada para o crescimento de grande quantidade de cristais de boa qualidade enquanto há o controle da composição. A desvantagem está na necessidade da compra de caros autoclaves e na impossibilidade de observar os cristais crescendo. (Kafle, 2019)

A pirólise (calcinação ou carbonização) ocorre a partir da degradação de um precursor sob alta temperatura, geralmente 200° C ou acima, e ausência de oxigênio. Nela, há a utilização de fontes de calor como ácido, mufla, forno, entre outros. (Lima, 2020) É um método efetivo para preparar nanopartículas em larga escala sem a utilização de solventes. (Ma et al., 2019)

Os pontos quânticos obtidos a partir do *Top-down*, apresentam baixa fluorescência, logo, há a necessidade pós-tratamento pela passivação que onde são funcionalizadas e passam a ter propriedades aprimoradas, no caso, a emissão de luz. (Oliveira, 2020; Vaz et al., 2015) A dopagem com nitrogênio (N-CDs), como passivação, por exemplo, apresenta melhora no rendimento quântico de fluorescência. Os N-CDs são utilizados, também, como fotossensibilizadores em células solares sensibilizadas por corante (DSSC – *dye sensitized solar cell*) por apresentarem ótima transferência de elétrons e absorverem luz na faixa do UV-Visível até o infravermelho. (Rodrigues; Morais; Nogueira, 2018)

2.4 BANANA

A banana (*Musa spp.*), de família Musaceae e gênero *Musa*, é uma das frutas mais consumidas no mundo e é originária do sudeste asiático. Quando imatura, apresenta coloração verde, conforme a Figura 3, já, quando mais próxima da sua maturação, amarela ou vermelha. Dependendo da espécie, pode assumir formato alongado, polpa mole ou dura, sabor doce ou acre. Depois de cortada, a fruta sofre oxidação rapidamente quando em contato com o ar devido à presença de vitamina C. (Klima Naturali, 2011) Os tipos de banana mais aceitos comercialmente são da terra, prata, nanica, prata anã, pacovan e figo (marmelo). (SENAR, 2011)

Figura 3: Banana prata (*Musa acuminata Cavendish*).



Fonte: KLIMA NATURALI (2011).

Como alimento, a banana é conhecida por ser composta por água e carboidratos, com poucos teores de proteínas e gorduras. Ela é rica tanto em sais minerais, como fósforo, magnésio e, principalmente, potássio, quanto em vitaminas, A, B2, B6, C. A Tabela 1 mostra sua composição química em 100g de fruta. (SENAR, 2011)

A banana tem seu cultivo presente em mais de 120 países de zona tropical, sendo o Brasil o segundo maior produtor mundial. Cerca de 97% da produção brasileira destina-se ao mercado interno. Essa fruta tem significativa participação ativa na dieta da população e relevância social e econômica, uma vez que serve de fonte de renda para milhares de agricultores. (SENAR, 2011)

Em razão dos problemas enfrentados durante pós-colheita, 40% da produção total é perdida. O manejo inadequado durante essas etapas e a qualidade fitossanitária da fruta são fatores que propiciam essa perda. Concorrem, também, para o baixo aproveitamento da produção, restrições de países importadores quanto à entrada de produtos exóticos em relação a sua flora, pela possibilidade de apresentar riscos à agricultura interna. (EMBRAPA, 2000)

Tabela 1: Composição química da banana por 100g.

Constituinte	Quantidade em média em mg, g ou porcentagem de valor diário
Energia	371 KJ (89Kcal)
Água	74,91 g
Carboidratos	22,84 g
Açúcares	12,23 g
Fibra alimentar	2,6 g
Vitaminas	
Ácido pantotênico (B5)	0,334 mg (7%)
Piridoxina	0,4 mg (31%)
Colina	9,8 mg (2%)
Vitamina C	8,7 mg (10%)
Minerais	
Magnésio	27 mg (8%)
Fósforo	22 mg (3%)
Potássio	358 mg (8%)
Sódio	1 mg (0%)
Zinco	0,15 mg (2%)

Fonte: Adaptado de Sidhu e Zafar (2018).

2.4.1 Casca da banana

A casca consiste em uma espécie de “embalagem” prática e conveniente pois, além da fácil remoção, permite acesso ao fruto em manuseio higiênico. (Matsuura; Costa; Folegatti, 2004) Quando a banana amadurece, a casca representa entre 40 e 50% do peso total e, normalmente, é jogada no meio ambiente sem nenhum tratamento. Em alguns casos, ela é utilizada como fertilizante orgânico e ração animal por conta de seu baixo teor de polifenóis e alto de fibras. (Cruz, 2009)

Mundialmente, cerca de 36 milhões de toneladas de casca são produzidas por ano e sua destinação final está altamente associada a perdas econômicas e impacto ambiental. (Zaini et al., 2022) Esse rejeito forma alta quantidade de biomassa residual. Na cidade de São Paulo, contabilizadas as perdas residuais dos processos de reaproveitamento parcial

com o descarte pós-consumo, há acúmulo de 4 toneladas de casca de banana por semana. (Neis e Machado, 2015)

Khan e Perveen (2010) realizaram análises de determinação de umidade de casca da banana *Musa paradisiaca* por meio de estufa, durante 24 horas a 105°C, e concluíram que a umidade corresponde a cerca de 84,5% do peso total. Enquanto isso, Hamid et al. (2016) realizaram a mesma metodologia, porém durante 6 horas, e determinaram a umidade para bananas de 3 tipos: *Musa aluminata Balbisiana* (MBS), *Musa acuminata Cavendish* (MCS) e *Musa acuminata Colla* (MES). Para MBS, a umidade determinada foi de 86,57%, para MCS, 87,58% e para MES, 82,97%.

2.5 RESÍDUOS ALIMENTARES

A sociedade enfrenta grande problema da poluição ambiental ocasionada pela destinação inadequada de resíduos sólidos e pelo alto volume de despejo gerado diariamente. O ideal seria dispor os resíduos de maneira que evitasse ou minimizasse a contaminação tanto de recursos hídricos quanto do solo. (Feitosa et al., 2020) Como pode ser visto na Tabela 2, no Brasil, cerca 40% do resíduo coletado seguiram para áreas de disposição inadequada, como lixões e aterros controlados, que não impedem as agressões citadas. (ABRELPE, 2021) Devido, hoje, o incipiente conhecimento de propriedades nutricionais, os talos sementes, cascas, que representam 20% de sobras orgânicas, acabam se tornando lixo orgânico. Esse tipo de resíduo tem potencial para ser aproveitado economicamente em diversos cenários como na produção de adubo e suplemento em produtos alimentícios, com destaque para barras de cereais, ração. A casca, devido ao grande teor de carboidratos, se despejada em excesso nos rios causa problemas ambientais graves por aumentar a demanda biológica de oxigênio e causar consequente desequilíbrio no ecossistema. (Neris et al., 2018)

Tabela 2: Disposição de resíduos sólidos no Brasil.

Região	Disposição adequada		Disposição inadequada	
	t/ano	%	t/ano	%
Norte	1.773.927	35,6	3.209.013	64,4
Nordeste	6.016.948	36,3	10.558.666	63,7
Centro-Oeste	2.456.849	42,5	3.323.972	57,5
Sudeste	29.542.830	73,4	10.706.257	26,6
Sul	6.011.894	70,8	2.479.482	29,2
Brasil	45.802.448	60,2	30.277.390	39,8

Fonte: ABRELPE (2021).

As partes ditas como “não comestíveis” podem até oferecer nutrientes em quantias significativas quando comparadas com as “comestíveis”. (Neris et al., 2018) Gondim et al. (2005) realizaram análises de frutas que, normalmente, têm suas cascas ignoradas como mamão, melão, tangerina, entre outros. Na Tabela 3, pode-se verificar a quantidade de nutrientes que compõem a casca da banana *versus* a polpa.

Tabela 3: Composição centesimal das casca e polpa da banana em 100g.

Parâmetro	Casca da banana	Polpa da banana
Umidade (g)	89,47	64
Cinzas (g)	0,95	0,80
Lipídeos (g)	0,99	0,00
Proteínas (g)	1,69	1,00
Fibras (g)	1,99	1,50
Carboidratos (g)	4,91	34,00
Calorias (Kcal)	35,30	128,00
Cálcio (mg)	66,71	0,00
Ferro (mg)	1,26	0,30
Sódio (mg)	54,27	< 0,40
Magnésio (mg)	29,96	24,00
Zinco (mg)	1,00	0,30
Cobre (mg)	0,10	0,05
Potássio (mg)	300,92	328,00

Fonte: Adaptado de Gondim et al., (2005).

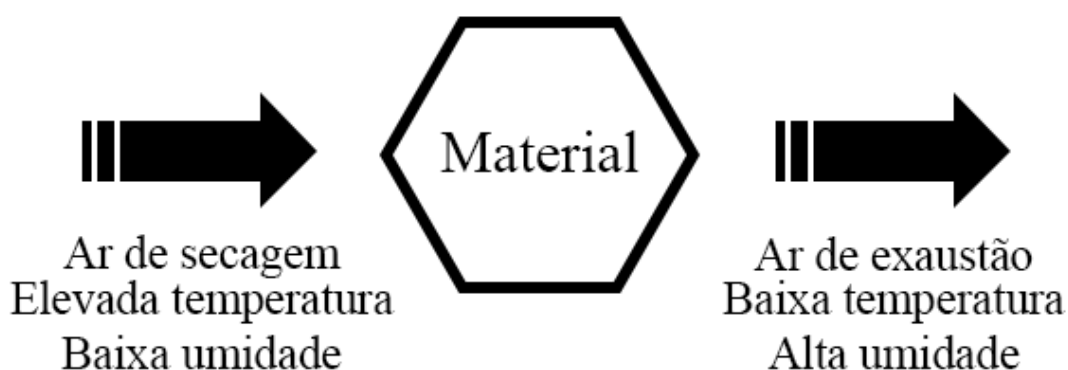
2.6 SECAGEM

A secagem é uma operação na qual a parte líquida é removida da matéria. Apesar de esta definição também valer para a evaporação, há diferenças entre as duas operações. A primeira trata a remoção de líquido de material sólido, enquanto que a segunda, é utilizada em compostos líquidos. A secagem remove o líquido por centrifugação ou vaporização; a evaporação, somente por vaporização. E por último, a vaporização na secagem ocorre abaixo da temperatura de ebulição do líquido, já na evaporação, ocorre na temperatura exata de ebulição do líquido objeto do esforço. (Celestino, 2010)

Esse processo assegura a qualidade e estabilidade dos produtos, visto que a redução de quantidade de água diminui a atividade biológica e, também, as mudanças físicas e químicas que possam vir a acontecer durante o armazenamento. (Correa et al., 2007) O teor de água adequado depende tanto da espécie da fruta quanto do período de armazenamento. Além disso, há também alguns fatores que influenciam no nível de umidade adequado como a umidade relativa do ar, a temperatura e o nível de dano mecânico. (Portella, 2001)

A parte líquida do material sólido é retirada pela transferência de calor do fluxo do ar para o grão e, simultaneamente, pelo fluxo de vapor de água do material para o ar, como pode ser visto na Figura 4. Assim, a remoção de umidade é obtida a partir da movimentação de vapor de água em função da diferença entre as pressões parciais de vapor entre a superfície do sólido e do ar que o envolve. Logo, para que haja o fenômeno de secagem, a pressão parcial de vapor da água encontrada na superfície deve ser maior que a pressão do ar. (Portella, 2001)

Figura 4: Representação da movimentação do ar e da água a partir de um material.



Fonte: Adaptado de Portella (2001).

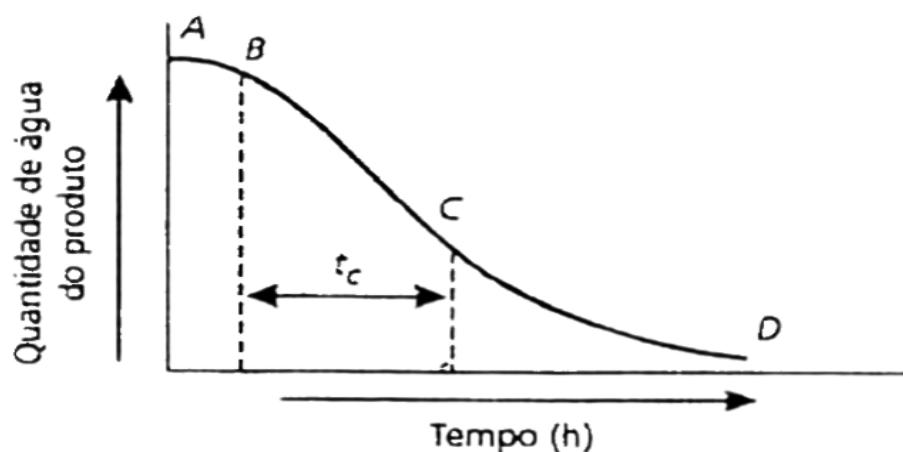
Há três teorias que servem para explicar o fluxo da água da parte interna do material para a casca e, posteriormente, para o ar (Portella, 2001):

- 1) Teoria da difusão líquida: a difusão líquida ocorre por causa do gradiente de concentração de água da região mais úmida para a mais seca;
- 2) Teoria difusional (difusão de vapor): a difusão de vapor ocorre por conta do gradiente de pressão de vapor, que é causado pela diferença de temperatura entre os dois pontos do grão;
- 3) Teoria do fluxo hidrodinâmico (escoamento de líquido e vapor): ocorre pela diferença de pressão total interna e pela diferença de temperatura, contração, concentração e capilaridade.

Durante a secagem, considerando que a temperatura e o fluxo de ar sejam constantes, o processo ajusta-se de acordo com a curva de secagem, ilustrado na Figura 5. O ciclo divide-se em duas fases: (Portella, 2001; Ordoñez, et al., 2005)

- i. Velocidade de secagem constante (AB): o processo é isentálpico, ou seja, sem variação de entalpia. A temperatura do ar de secagem na saída do secador tende a ser igual à temperatura ambiente. E, por último, a transferência de calor e massa é equivalente, logo, a velocidade de secagem é constante.
- ii. Velocidade de secagem decrescente (BD): a taxa de transporte interno de água passa a ser inferior à taxa de evaporação, logo, não existe água na superfície para ser evaporada. A transferência de calor não é compensada pela transferência de massa. A temperatura do material aumenta e tende para a temperatura do ar de secagem. O processo é encerrado quando a umidade atinge o ponto de equilíbrio em relação à umidade relativa do ar. Essa fase é dividida em duas, onde a velocidade de secagem é decrescente, rápida e possui o tempo de dessecação, t_c , em velocidade constante (BC) e onde a velocidade de secagem é decrescente e lenta (CD).

Figura 5: Curva de cinética de secagem em base úmida.



Fonte: Ordoñez et al. (2005).

Não há classificação oficial entre os sistemas de secagem. A divisão ocorrida na Figura 6 tem apenas o escopo de demonstrar como são aplicados. (Silva; Afonso; Donzelles, 2008)

Figura 6: Divisão de sistemas de secagem.

Sistemas de secagem	Natural – no campo, na própria planta				
	Artificial	Ventilação Natural	Terreiros e paióis		
			Secagem solar		
			Outros		
		Ventilação Forçada	Altas temperaturas	Quanto aos fluxos	Ar natural
					Camada fixa
					Cruzados
					Concorrentes
					Contra-correntes
					Cascata
					Rotativo
					Fluidizado
					Solar híbrido
					Quanto à operação
Contínuos					
Baixa temperatura					
Sistemas combinados					
Seca-aeração					
Convecção					

Fonte: Silva; Afonso; Donzelles (2008).

A secagem natural se faz com a utilização do sol e do vento. Esta técnica, apesar de apresentar baixo custo, é limitada pelo clima local e apresenta lentidão. Já na artificial, há a utilização de auxílios elétricos, mecânicos ou eletrônicos, de maneira que o ar que passa pelo fruto é forçado que divide-se a secagem em baixa temperatura, onde é utilizado ar natural ou levemente aquecido (entre 1 e 8°C em relação à temperatura ambiente), e em alta temperatura, onde o ar já é aquecido acima de 8°C. (Garcia, 2004)

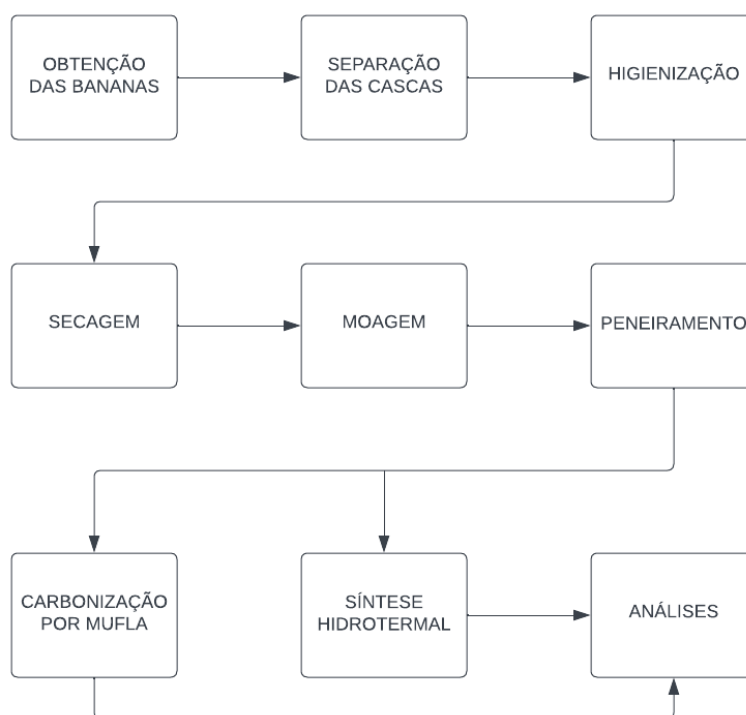
Na secagem combinada, o material, após passar por secadores de altas temperaturas até atingir o teor de umidade prefixado, é transferido para sistema de baixa temperatura, onde se dá sua finalização. (Silva; Afonso; Donzelles, 2008)

A secagem por convecção consiste na utilização de trocadores de calor entre o ar de combustão e o ar de secagem, neste, o ar perpassa a massa do material por diferença de densidade. (Silva; Afonso; Donzelles, 2008)

3 MATERIAL E MÉTODOS

O procedimento para a análise da influência da curva de cinética de secagem na obtenção de pontos de carbono a partir da casca de banana prata foi realizado conforme a Figura 7.

Figura 7: Fluxograma do procedimento



Fonte: Própria (2023).

3.1 PREPARO DO MATERIAL

As cascas foram preparadas como material precursor para análise da influência da cinética de secagem na síntese de pontos de carbono. Inicialmente, as bananas do tipo prata (Figura 8A) foram obtidas no mercado local, localizado no município de Manaus, e levadas para o laboratório Química Aplicada à Tecnologia (QAT), na Universidade do Estado do Amazonas (UEA). Lá, foram lavadas com água da rede pública, para que fosse removida qualquer sujeira presente, e postas em bandejas com papel toalha durante 30 minutos para remoção do excesso de água, como visto na Figura 8B. Passado esse período, as cascas foram cortadas com tesoura, em tamanho de cerca de 1cm. Em seguida, então, foram dispostas em três bandejas de alumínio (Figura 9) e inseridas na estufa de circulação forçada com renovação de ar, modelo TE-394/2 da Tecnal (Figura 10), para realizar a secagem convectiva.

Figura 8: Banana prata (A) e cascas sob papel toalha para remoção de excesso de água na superfície (B).



Fonte: Própria (2023).

Figura 9: Bandejas de alumínio com as cascas cortadas para realização do processo de secagem.



Fonte: Própria (2023).

Figura 10: Estufa de circulação forçada e renovação de ar.



Fonte: Própria (2023).

3.2 OBTENÇÃO DA CURVA DE CINÉTICA DE SECAGEM

Inicialmente, foi realizada a pesagem das cascas e o peso total foi dividido por 3 para que cada amostra tivesse pesos similares. As curvas de cinética de secagem foram realizadas a 60° C, com tempos de secagem em 6 (Amostras A), 12 (Amostras B) e 24 (Amostras C) horas. As amostras eram coletadas para mensurar as massas, com o auxílio de uma balança analítica da Shimadzu, e verificar as diferenças encontradas com o passar do tempo. As coletas foram realizadas em três etapas: a cada 10 minutos durante as primeiras 2 horas de processo, a cada 20 minutos durante as 2 horas seguintes e a cada 30 minutos até o processo chegar a 12 horas de duração. Quando o processo chegou em 12 horas, a coleta seguinte se deu apenas após completar 24 horas. Vale ressaltar que os experimentos foram realizados em triplicata, utilizando-se, então, os numerais 1, 2 e 3 nas siglas de cada triplicata. A umidade do material em base úmida em função do tempo foi determinada de acordo com a equação (1):

$$Ubu (\%) = \frac{m_i - m_{SS}}{m_i} \quad (1)$$

Onde: Ubu (%): umidade em base úmida em porcentagem; m_i : massa da amostra medida com o tempo (g); m_{SS} : massa da amostra seca (g).

Após a etapa de secagem, como pode ser visto na Figura 11, as amostras foram seladas em embalagens plásticas, para que o contato com a umidade do meio externo fosse reduzido. Para isso, foi utilizado uma embaladora à vácuo caseira da Cetrol (Figura 12).

Figura 11: Amostras seladas em embalagens plásticas.



Fonte: Própria (2023).

Figura 12: Embaladora à vácuo caseira.



Fonte: Própria (2023).

3.3 PREPARO DOS PONTOS DE CARBONO

Para realizar o preparo dos pontos de carbono, as amostras passaram por processos de moagem, filtração e, por último, sínteses hidrotermal e carbonização por mufla.

3.3.1 Processamento da Amostra

As amostras levadas para o laboratório ILUM, localizado no HUB, na UEA, foram retiradas das embalagens plásticas e inseridas em um liquidificador, da marca Walita (Figura 13), para realização da moagem. O pó resultante teve sua granulometria definida por meio da passagem desse material por uma peneira de mesh 48, com abertura de 300 μ m, da Bertel (Figura 14). Na etapa de síntese de pontos de carbono, foram utilizadas duas rotas distintas: a síntese hidrotermal e a carbonização por mufla. Siglas foram utilizadas para identificar as amostras de forma que:

- Primeira letra indica tempo de secagem: A – 6h; B – 12h; C – 24h.
- Numeral indica a amostra entre as triplicatas;
- Duas últimas letras indicam o método de síntese: Reação hidrotermal (RH); Carbonização por Mufla (MU).

Figura 13: Liquidificador Walita.



Fonte: Própria (2023).

Figura 14: Peneira 48 mesh da Bertel.

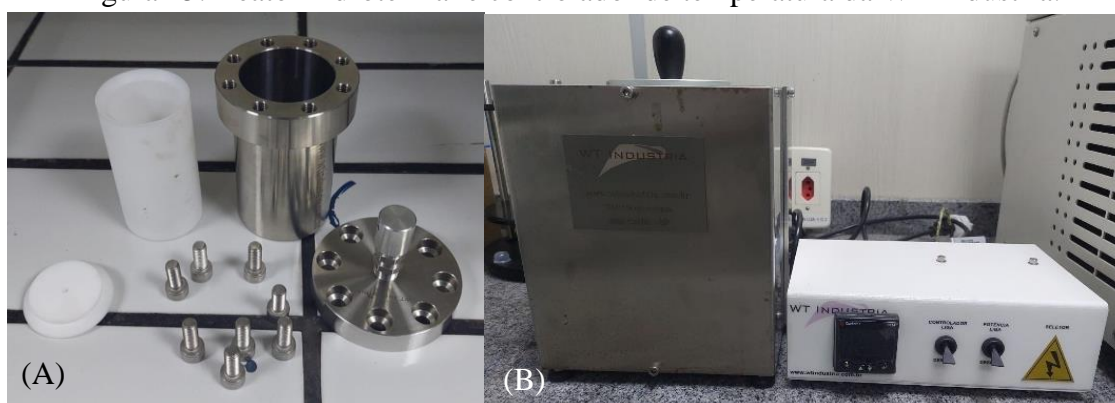


Fonte: Própria (2023).

3.3.2 Síntese Hidrotermal

Para a síntese de pontos de carbono a partir do reator hidrotermal, da WT Indústria (Figura 15), 0,8 g do material obtido em 3.3.1 foi adicionado a 50 mL de água destilada e a solução resultante inserida no vaso coletor do reator (Figura 15A). A partir da utilização de um controlador de temperatura (Figura 15B), a reação ocorreu a 180° C, durante 6 horas. Em seguida, após atingir temperatura ambiente, a solução foi transferida para um tubo Falcon e centrifugada a 3600 rpm por 15 minutos. Foi feita filtração simples à vácuo, por papel filtro de porosidade de 14 μm .

Figura 15: Reator hidrotermal e controlador de temperatura da WT Indústria.



Fonte: Própria (2023).

3.3.3 Carbonização por Mufla

Para a síntese por carbonização em mufla, da SolidSteel (Figura 16), 0,8 g do material obtido em 3.3.1 foi adicionado em cadinho de porcelana e levado à mufla para reagir a 300° C, durante 2 horas. Após a reação, o pó foi triturado manualmente, com o auxílio de um pistilo, e transferido para um becker com 100 mL de água deionizada. Em seguida, foi realizado o banho ultrassônico, no banho da Eco-Sonics (Figura 17), cuja finalidade foi de extrair pontos de carbono presentes na superfície do material carbonizado particulado, durante 30 minutos. Após o banho, foi realizada a centrifugação do material a 3600 rpm durante 15 minutos. Foi realizada uma filtração tripla à vácuo, por papel filtro de porosidade de 14 µm.

Figura 16: Forno mufla da SolidSteel.



Fonte: Própria (2023).

Figura 17: Banho ultrassônico da Eco-Sonics.



Fonte: Própria (2023).

3.4 CARACTERIZAÇÃO DOS PONTOS DE CARBONO

As amostras obtidas após os procedimentos de síntese, descritos em 3.3.2 e 3.3.3, foram submetidas à caracterização p^{ôr}: espectroscopia de absorção molecular (UV-vis) e emissão de fluorescência (FL), espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (IVTF) e microscopia eletrônica de transmissão (MET).

Inicialmente, as amostras, que ficaram ordenadas lado a lado, foram incididas por luzes LED branca e ultravioleta do tipo negra para observar diferenças visíveis quanto à tonalidade e emissão de fluorescência a olho nu. Para a luz LED, as amostras foram dispostas sobre folha A4 branca em uma bancada, enquanto que para a ultravioleta, inseridas em câmara escura. Na sequência, as amostras foram submetidas às caracterizações por espectroscopia. Previamente, elas passaram por filtração utilizando filtro para seringa com o tamanho do poro de 0,45 μm (Figura 18). A espectroscopia de absorção no UV-Vísivel foi feita a partir da utilização do espectrômetro UV-1800 da Shimadzu (Figura 19), no intervalo entre 190 a 800 nm. Em seguida, foram diluídas na proporção de 100 μL de amostra para 10 mL de água destilada. Com a finalidade de reduzir o erro, efetuaram-se 5 diluições e 3 varreduras para cada amostra, num total de 15 análises. O objetivo desta análise foi observar a região do espectro que ocorre a maior absorção das amostras, comparando-as, e avaliar as possíveis transições eletrônicas.

Figura 18: Filtro para seringa.



Fonte: Própria (2023).

Figura 19: Espectrômetro UV-1800, Shimadzu.



Fonte: Própria (2023).

Para a espectroscopia de emissão de fluorescência, as amostras foram acondicionadas em frascos em vidro âmbar e levadas ao Grupo de Pesquisa em Química de Materiais (GPQM), localizado na Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ). As análises foram feitas utilizando o RF-5301PC, da Shimadzu, à temperatura ambiente, na região de 350 a 800 nm em células de quartzo, de 1 cm de caminho óptico, sob diluição de 300 μ L de amostra para 10 mL em água destilada. Inicialmente, a primeira análise teve o objetivo de avaliar o comportamento de emissão das amostras sintetizadas variando o comprimento de onda de excitação em 20 nm, iniciando em 330 até 490 nm, para isso foi utilizada uma lâmpada de xenônio de 150 W. Em seguida, foi realizada a comparação

entre as intensidades de emissão fixando o comprimento de onda de excitação em 350 nm.

Para análise de IVFT por reflectância total atenuada (RTA), foi disponibilizada a análise de 4 amostras, assim, foram escolhidas as de 6 e 24 horas para verificar a influência da secagem e também duas de cada técnica de síntese. Logo, as amostras (A1RH, A1MU, C1RH e C1MU) foram levadas, novamente, ao laboratório QAT, para realização do estudo. A análise buscou verificar a presença de grupos funcionais presentes na superfície das amostras, no sentido de comparar os resultados obtidos nas rotas de síntese com possíveis modificações na superfície dos materiais.

Por fim, a amostra C1RH, analisada com o MET de 120kV da série Jeol JEM-1400Flash (Figura 20), foi micrografada com escalas de 5, 20 e 50 nm, no Centro Multiusuário para Análise de Fenômenos Biomédicos da UEA (CMABio), localizado na Escola Superior de Ciências da Saúde (ESA) da UEA. Essa análise teve o objetivo de avaliar a morfologia dos pontos de carbono.

Figura 20: Microscópio eletrônico de transmissão série Jeol JEM-1400Flash.



Fonte: cmabio.uea.edu.br (2023).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

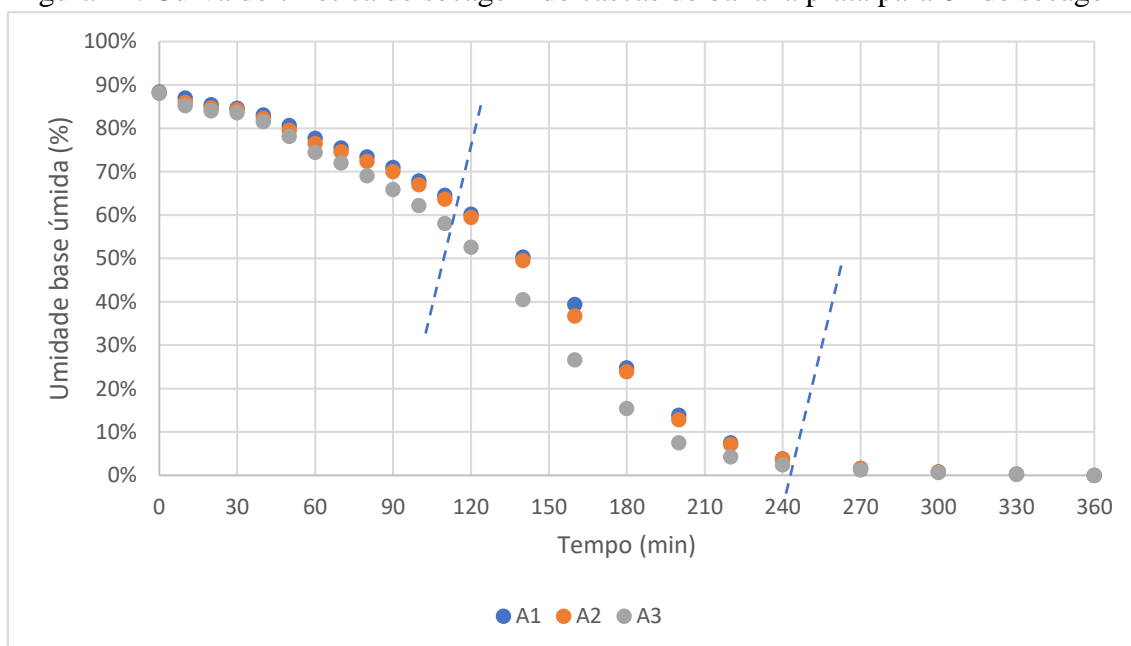
Neste tópico serão discutidos os resultados provenientes da análise da influência da secagem na obtenção de pontos de carbono sintetizados a partir das cascas de banana prata.

4.1 SECAGEM

Nas Figuras 21, 22, 23, observa-se, respectivamente, as curvas de cinética de secagem para os tempos de 6, 12 e 24 horas, e, na Figura 24, o comparativo das médias de cada período.

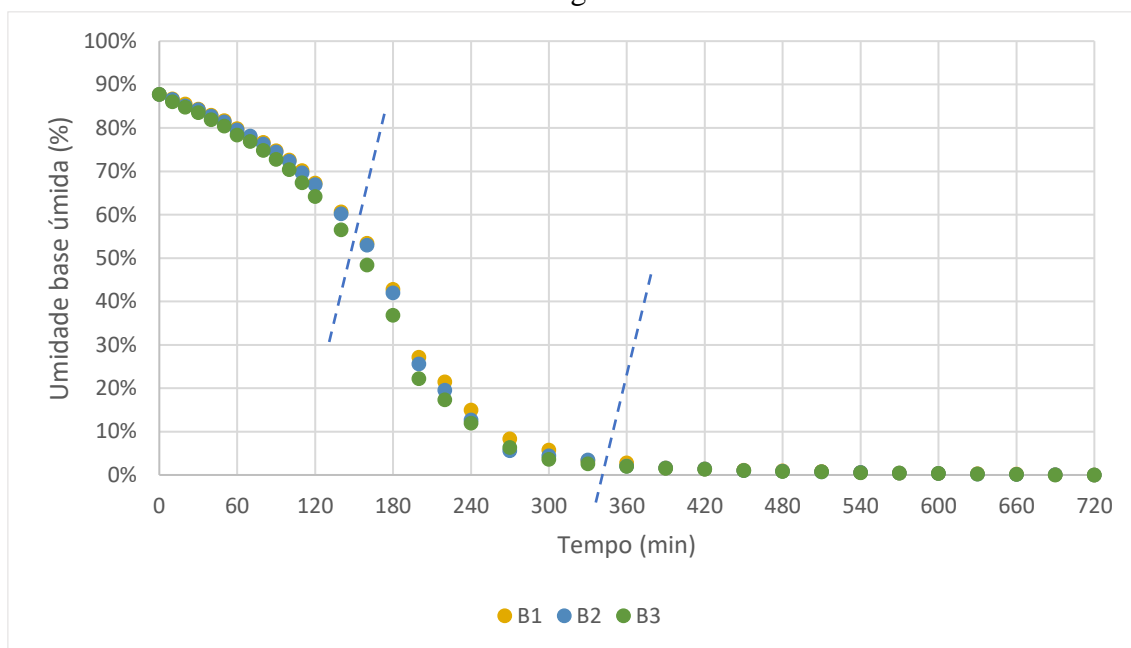
Por meio do Apêndice A, é possível verificar os dados numéricos da variação de umidade em base úmida das cascas com o passar do tempo.

Figura 21: Curva de cinética de secagem de cascas de banana prata para 6h de secagem.



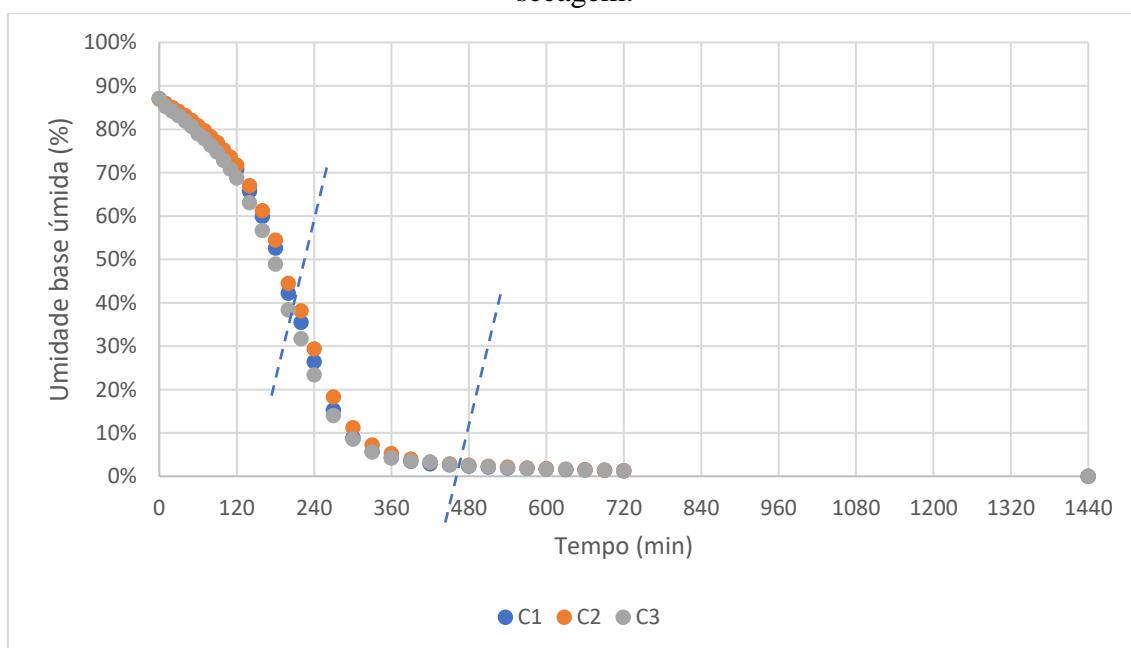
Fonte: Própria (2023).

Figura 22: Curva de cinética de secagem de cascas de banana prata para 12h de secagem.



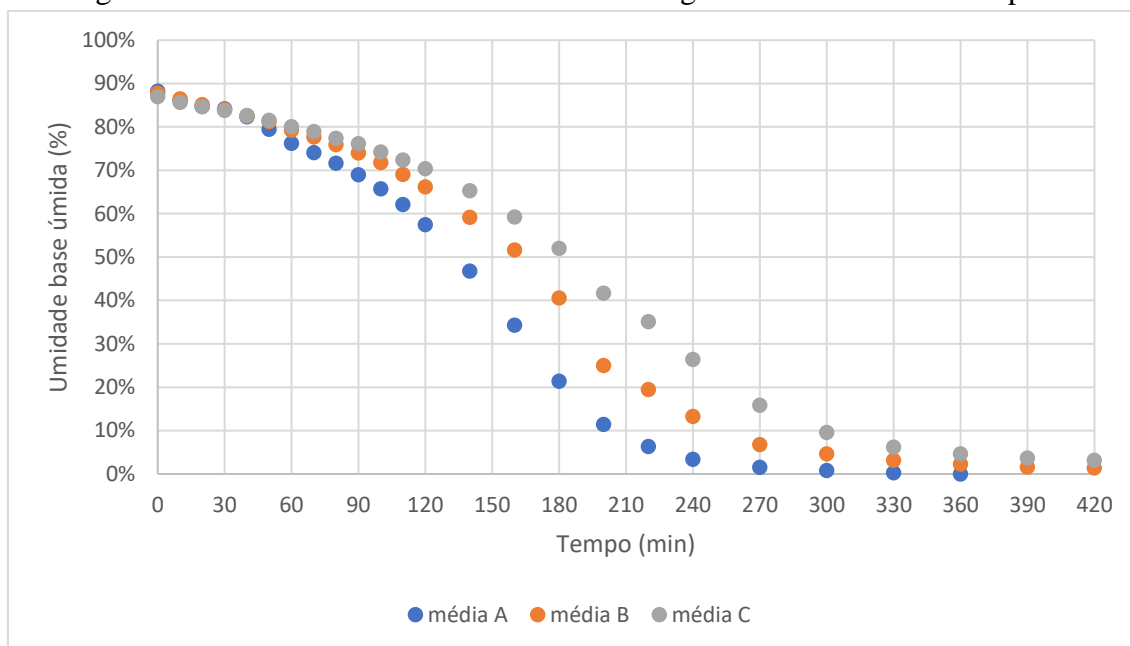
Fonte: Própria (2023).

Figura 23: Curva de cinética de secagem de cascas de banana prata para 24h de secagem.



Fonte: Própria (2023).

Figura 24: Média das curvas de cinética de secagem de cascas de banana prata.



Fonte: Própria (2023).

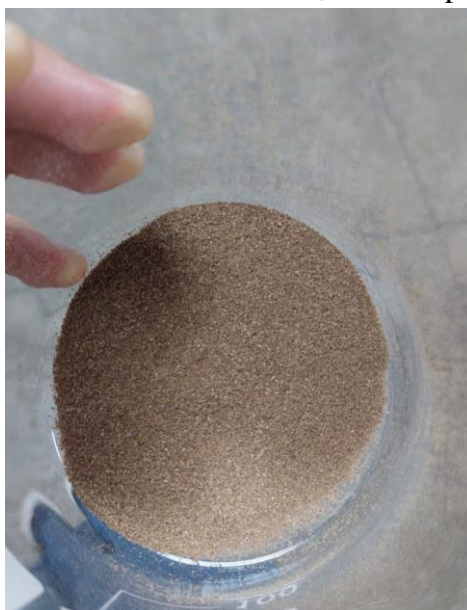
Como o tempo para que as amostras chegassem a 10% de umidade foi relativamente baixo quando comparado com os tempos totais de secagem (360, 720 e 1440 minutos), houve maior predomínio nos períodos de taxa decrescente, principalmente no segundo. Neste momento, a velocidade de secagem, além de decrescente, é lenta, onde a velocidade de migração da umidade interna para a superfície é bem inferior à velocidade de remoção da umidade da superfície para o agente de secagem. Para 6 h de secagem, a segunda etapa da taxa decrescente durou entre 120 e 240 minutos, resultando em duração de 120 minutos. Para 12 horas, durou entre 160 e 330 minutos, resultando em 170 minutos. E para 24, entre 220 e 460 minutos, durando 240 minutos.

Também é possível verificar que a quantidade de água presente nas cascas corresponde a aproximadamente 88% do seu peso total, o que corrobora com os estudos de Khan e Perveen (2010) e Gondim et al. (2005).

4.2 PENEIRAMENTO

A granulometria resultante, a partir do peneiramento com peneira de mesh 48, pode ser vista na Figura 25. As massas retidas e passantes estão dispostas na Tabela 4.

Figura 25: Casca de banana seca, moída e peneirada.



Fonte: Própria (2023).

Tabela 4: Massa de casca de banana retida e passante de acordo com a granulometria de 48 mesh.

Amostra	Massa retida (g) ($\pm 0,0001$ g)	Massa passante (g) ($\pm 0,0001$ g)
A1	6,4807	1,8342
A2	6,3011	1,8338
A3	6,2515	1,8152
B1	7,6352	1,9275
B2	7,4521	1,9478
B3	7,5357	1,9178
C1	9,0607	2,8522
C2	9,0267	2,7648
C3	8,8982	2,5229

Fonte: Própria (2023).

Para realizar cada rota de síntese de pontos de carbono, de maneira padronizada, as cascas moídas tiveram suas massas mensuradas de acordo com a Tabela 5.

Tabela 5: Massa de casca de banana em cada amostra ao iniciar o processo de obtenção de pontos de carbono.

Amostra	Massa (g) ($\pm 0,0001$ g)	Amostra	Massa (g) ($\pm 0,0001$ g)	Amostra	Massa (g) ($\pm 0,0001$ g)
A1RH	0,8016	B1RH	0,8022	C1RH	0,8031
A1MU	0,8048	B1MU	0,8013	C1MU	0,8039
A2RH	0,8024	B2RH	0,8038	C2RH	0,8071
A2MU	0,8035	B2MU	0,8028	C2MU	0,8002
A3RH	0,8021	B3RH	0,8005	C3RH	0,8036
A3MU	0,8050	B3MU	0,8037	C3MU	0,8053

Fonte: Própria (2023).

4.3 OBTENÇÃO DOS PONTOS DE CARBONO

Notou-se que a solução sintetizada a partir da carbonização formava espumas (Figura 26A) enquanto que a do reator hidrotermal não apresentava o mesmo resultado (Figura 26B). Isso pode ser justificado pelo fato de as soluções terem sido obtidas a partir de temperaturas e tempos bem diferentes, sintetizando-se, também, diferentes subprodutos.

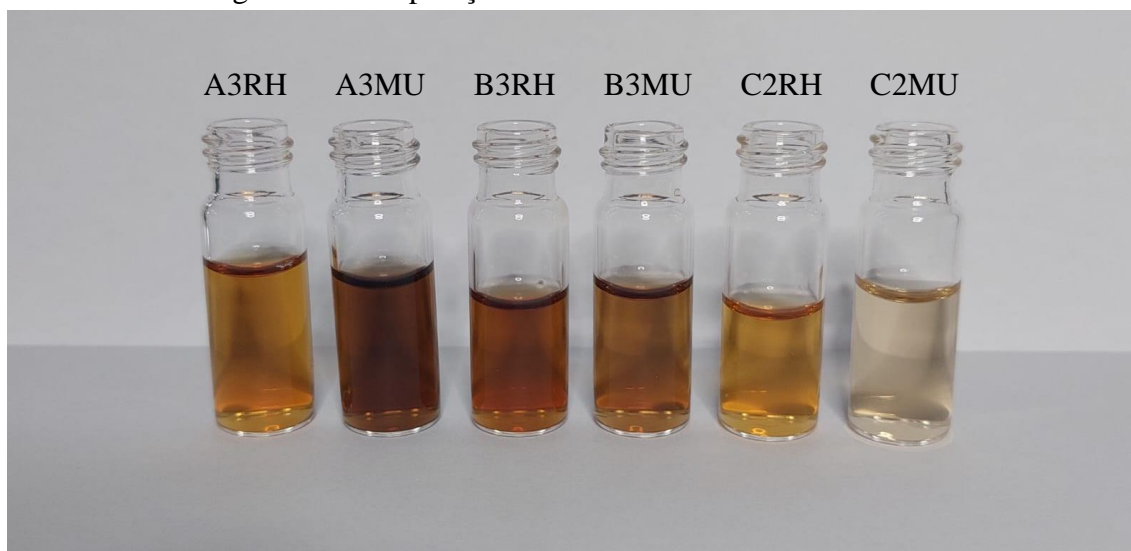
Figura 26: Solução via carbonização por mufla (A) e via reator hidrotermal (B) durante filtração à vácuo.



Fonte: Própria (2023).

A partir da Figura 27, é possível notar que quanto maior o tempo de secagem das amostras, menores tonalidades elas apresentam. Além disso, também é visível a diferença entre rotas de síntese, onde, para 6 h de secagem, a amostra mais escura ocorre na mufla, enquanto que, para 24 h, a mais escura no RH. É possível verificar então que as amostras realizadas no RH mantêm progressão curta de diferença de tom, enquanto que as MU, mais abrupta.

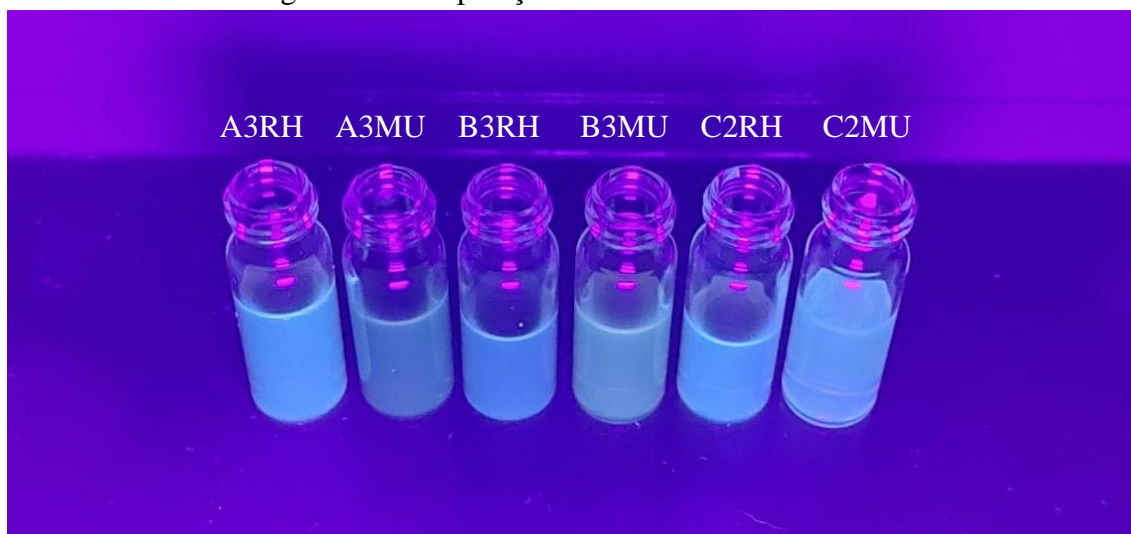
Figura 27: Comparação entre amostras à luz LED branca.



Fonte: Própria (2023).

Visualizando a Figura 28, é possível notar o efeito fotoluminescente das amostras. De acordo com Machado et al. (2015), o fato de a solução apresentar fotoluminescência de coloração em tons próximos ao verde e azul, ao ter sido incidida por luz ultravioleta, indica que há presença de pontos de carbono.

Figura 28: Comparação ao incidir luz ultravioleta.



Fonte: Própria (2023).

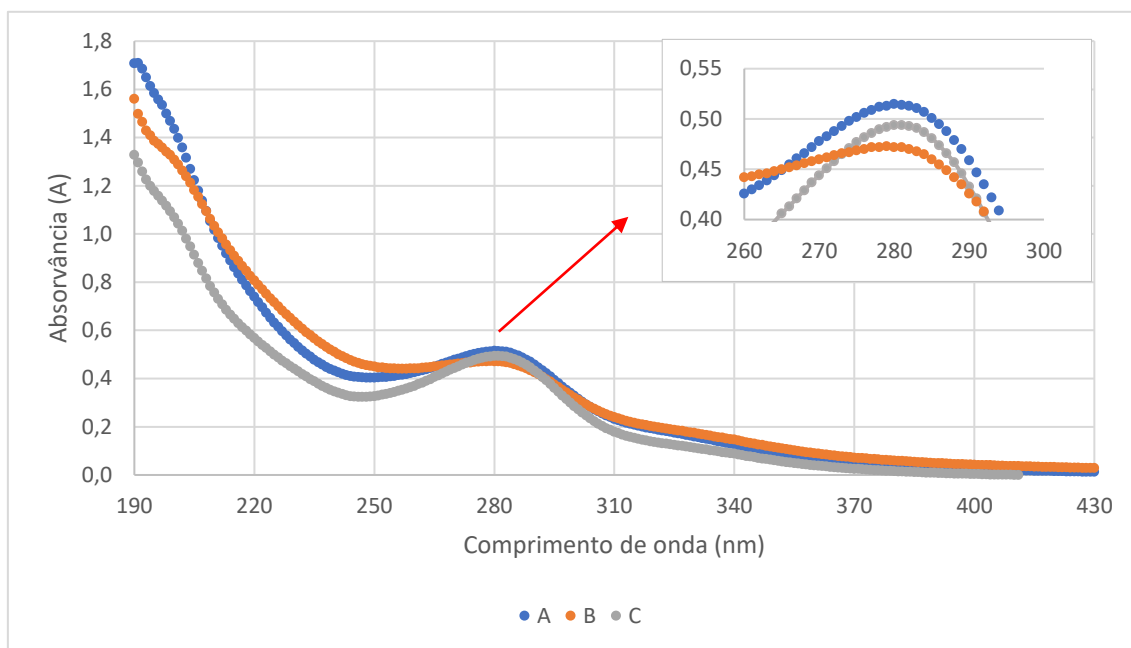
4.4 ESPECTROSCOPIA NO UV-VISÍVEL

As espectroscopias de absorção e emissão foram realizadas para comparar as amostras e verificar a influência da secagem, em 6 (Amostras A), 12 (Amostras B) e 24 (Amostras C) horas, na qualidade dos pontos de carbono obtidos.

As Figuras 29 e 30, respectivamente, ilustram a média da absorvância das amostras sintetizadas pelo reator hidrotermal e pela carbonização na mufla. É possível notar que, abordando a influência da cinética de secagem, não houve diferenças relevantes entre as amostras de mesma rota de síntese. Entretanto, quando é feita a comparação entre as rotas, percebe-se que a síntese hidrotermal apresenta melhores resultados, com valores próximos a 0,50 de intensidade, contra 0,2 das amostras sintetizadas na mufla. Portanto, isso significa que as amostras RH absorvem a luz bem mais quando comparada com as MU.

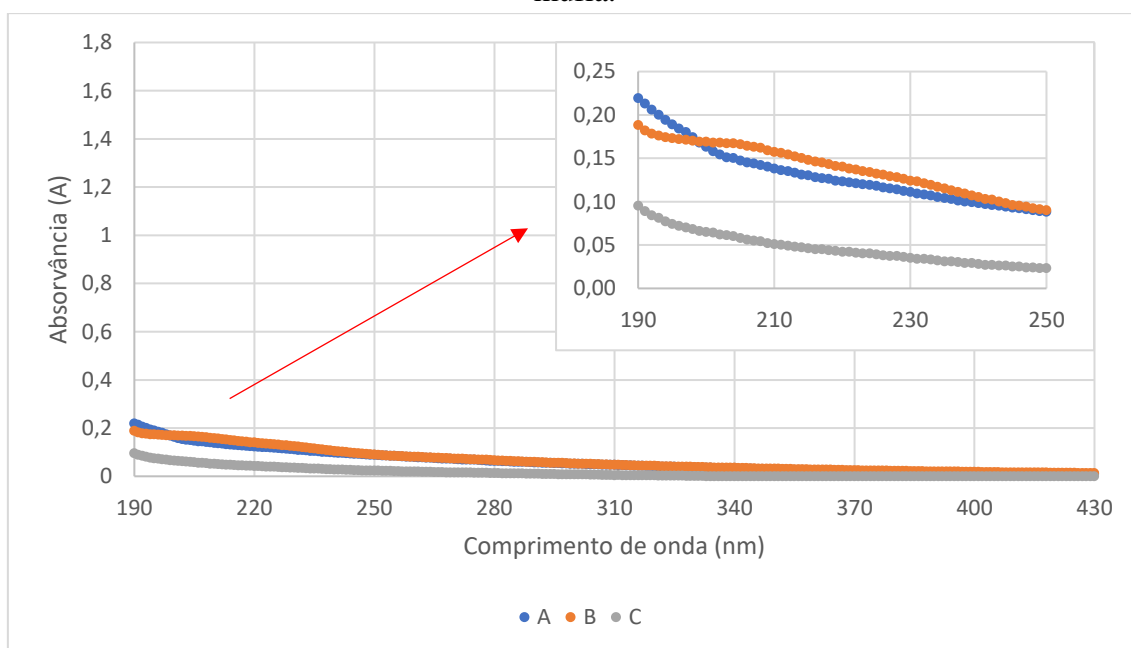
De acordo com Lima (2020), os carbonos sp^2 são responsáveis pela presença da banda de transição $\pi - \pi^*$ que pode ser visualizada no pico em torno de 280 nm, encontrado na Figura 29. Ainda, é possível perceber uma discreta banda em torno de 330 nm, sendo possível indicação de transição do tipo $n - \pi^*$.

Figura 29: Espectroscopia de absorção molecular de PCs sintetizados em reação hidrotermal.



Fonte: Própria (2023).

Figura 30: Espectroscopia de absorção molecular PCs sintetizados em carbonização por mufla.

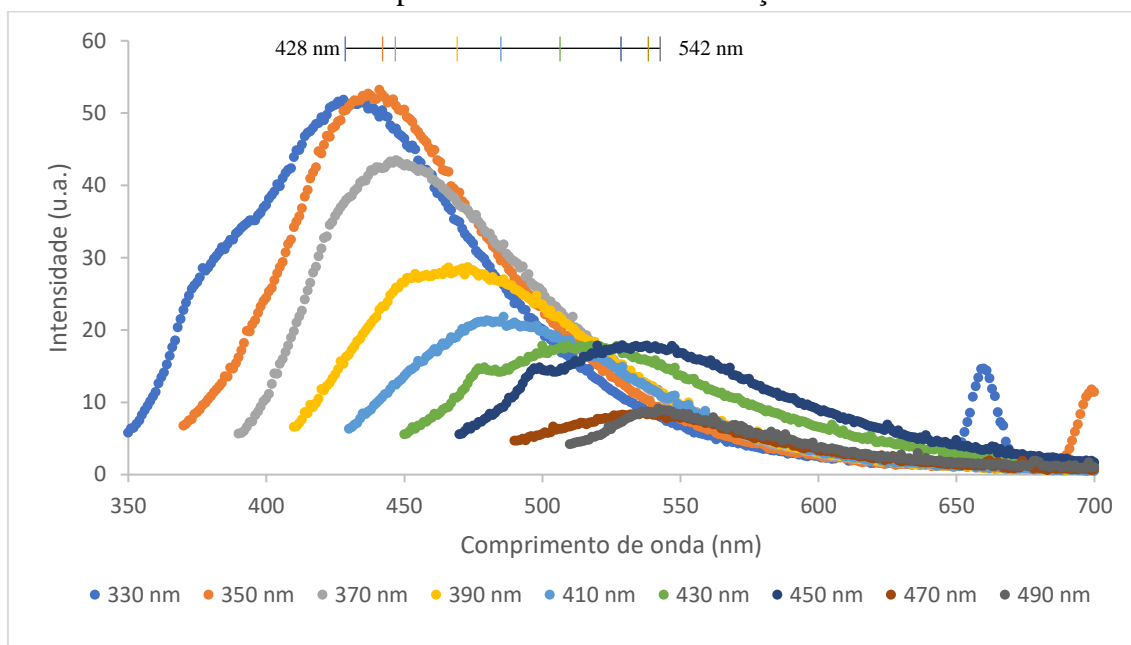


Fonte: Própria (2023).

As Figuras 31 e 32 ilustram o deslocamento das curvas de emissão que as amostras C3RH e C3MU apresentaram quando excitadas a partir de nove estações diferentes, cada uma com comprimento de onda de excitação específico. Esse deslocamento se faz interessante pois é um comportamento característico dos pontos de carbono. Vale

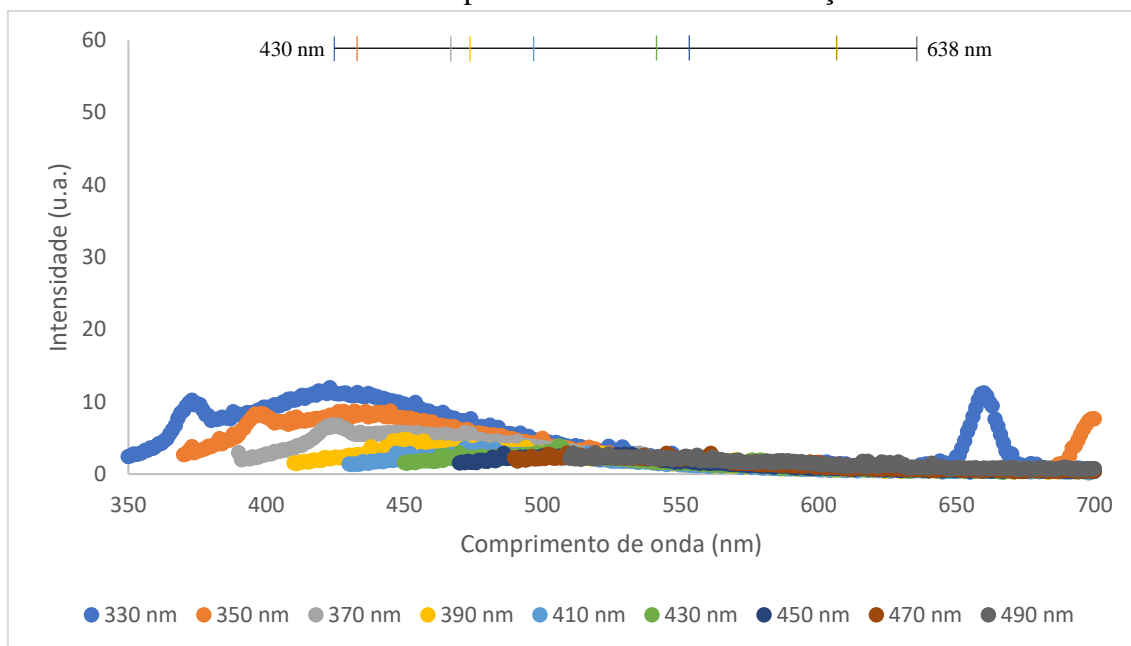
ressaltar que estas amostras foram escolhidas por acaso, mas que outras amostras também poderiam ser utilizadas para ilustrar o efeito.

Figura 31: Deslocamento da curva de emissão da amostra C3RH a partir de diferentes comprimentos de onda de excitação.



Fonte: Própria (2023).

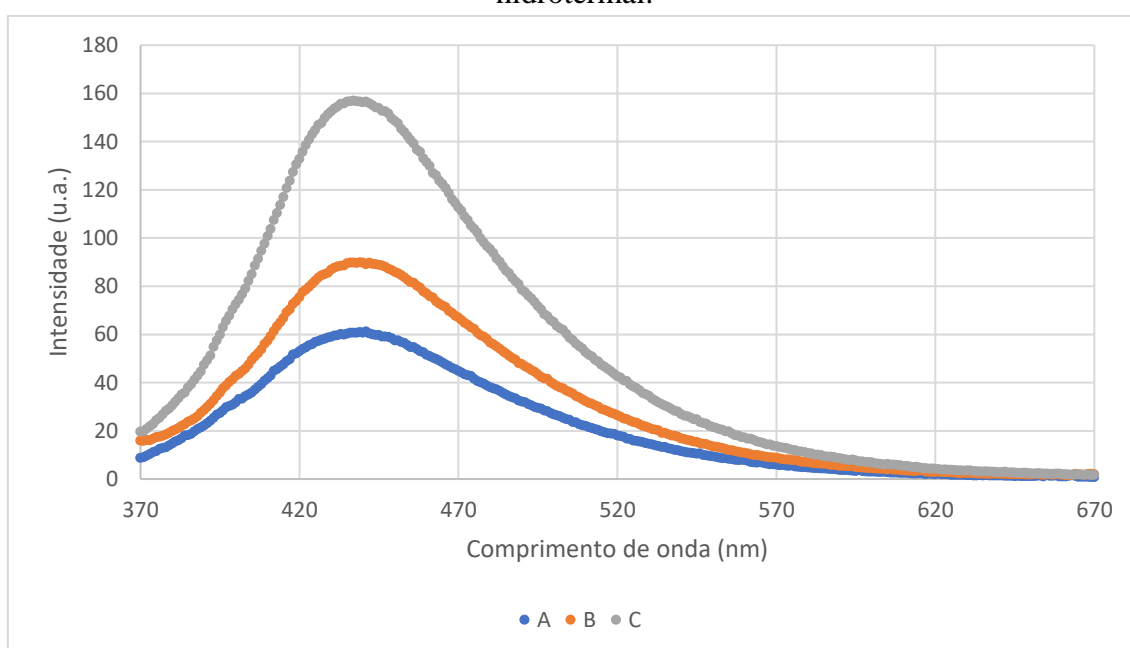
Figura 32: Deslocamento da curva de emissão da amostra C3MU a partir de diferentes comprimentos de onda de excitação.



Fonte: Própria (2023).

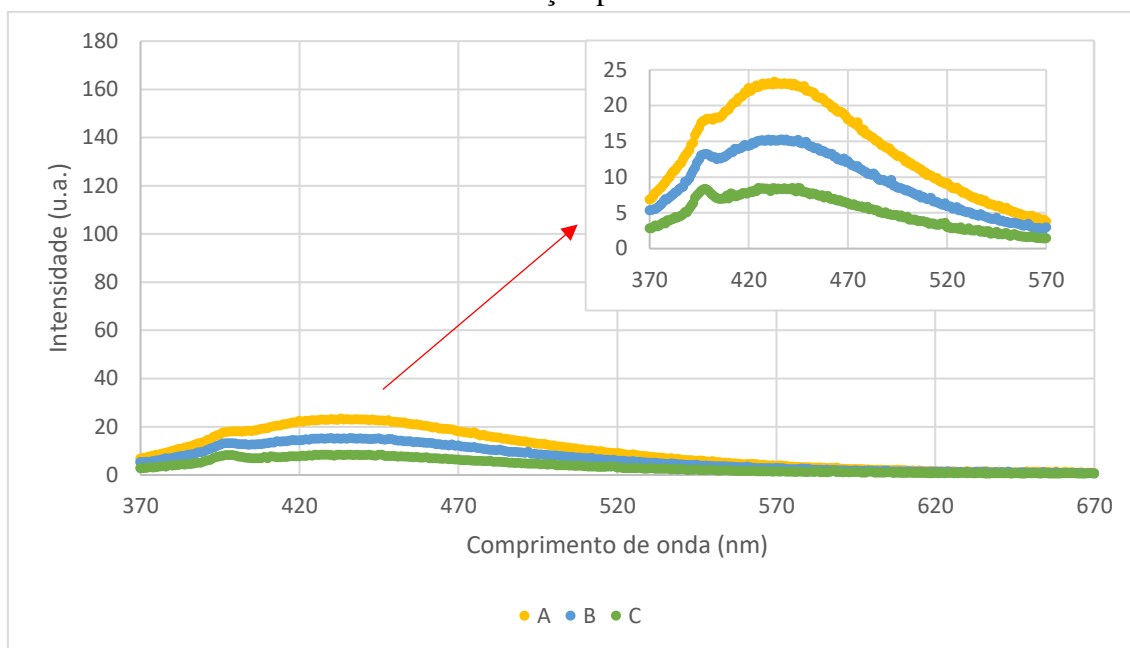
As Figuras 33 e 34, respectivamente, ilustram a média das emissões das amostras sintetizadas no reator hidrotermal e na carbonização na mufla. Percebe-se que, diferentemente da absorção, a emissão das amostras teve bastante influência a partir da cinética de secagem. Para as amostras RH, as que passaram por 24 horas de secagem apresentaram emissão mais de duas vezes às que passaram por 6. Já nas amostras MU, as de 6 horas apresentaram valores 3 vezes maiores que a de 24. Essa diferença observada pode estar relacionada aos defeitos de superfície na região cristalina grafitica e/ou às quantidades de grupos funcionais localizados na superfície das amostras.

Figura 33: Espectroscopia de emissão de fluorescência de PCs sintetizados em reator hidrotermal.



Fonte: Própria (2023).

Figura 34: Espectroscopia de emissão de fluorescência de PCs sintetizados em carbonização por mufla.



Fonte: Própria (2023).

Além disso, há o cálculo de Largura Total da Metade da Máxima (do inglês – *Full Width Half Maximum* - FWHM) que possui tendência inversa em relação ao rendimento quântico, por exemplo, quanto menor o FWHM, o rendimento tende a ser maior. A partir da Tabela 6, é possível verificar que, dentre as amostras sintetizadas por meio hidrotermal, o FWHM diminuiu conforme aumentou-se o tempo de secagem. Para a carbonização por mufla, o valor da largura manteve-se próximo.

Tabela 6: Valores de largura à meia altura e valor máximo de intensidade das curva de emissão de fluorescência de pontos de carbono obtidos a partir da casca da banana.

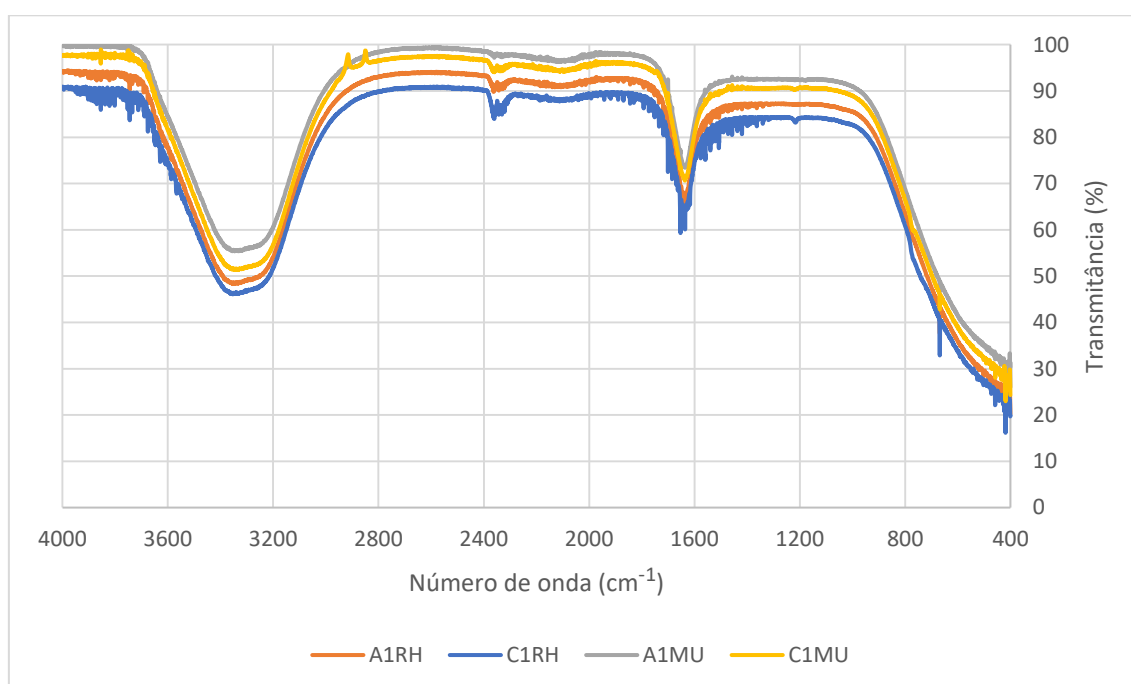
Amostra	FWHM (nm)	Valor máximo de intensidade de emissão (A)
Mufla		
A	118	23,34
B	120	15,23
C	115	8,45
Reação hidrotermal		
A	93	156,97
B	91	89,96
C	87	61,92

Fonte: Própria (2023).

4.5 ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO

Os resultados das análises de espectroscopia no IVTF para caracterização química estão representados na Figura 35 e na Tabela 7. A influência da cinética de secagem não se fez relevante na mudança de grupos funcionais na superfície, pois vê-se que as transmitâncias apresentaram vales mais intensos localizados em regiões próximas, com algumas diferenças por conta de ruídos. Neste caso, os vales nas faixas de 3353 e 1653 cm^{-1} indicam estiramentos axiais fortes e médios de ligações O – H e C = C respectivamente, de acordo com Silverstein, Webster e Kiemle (2005).

Figura 35: Espectroscopia IVTF das amostras A1RH, A1MU, C1RH e C1MU.



Fonte: Própria (2023).

Tabela 7: Principais vibrações do espectro infravermelho de pontos de carbono obtidos a partir da casca da banana.

Posição da banda observada (cm^{-1})	Grupo atribuído	Vibração característica de acordo com Silverstein, Webster e Kiemle (2005)
1653	ν C = C	1680 – 1620 cm^{-1}
3353	ν O – H	3500 – 3200 cm^{-1}

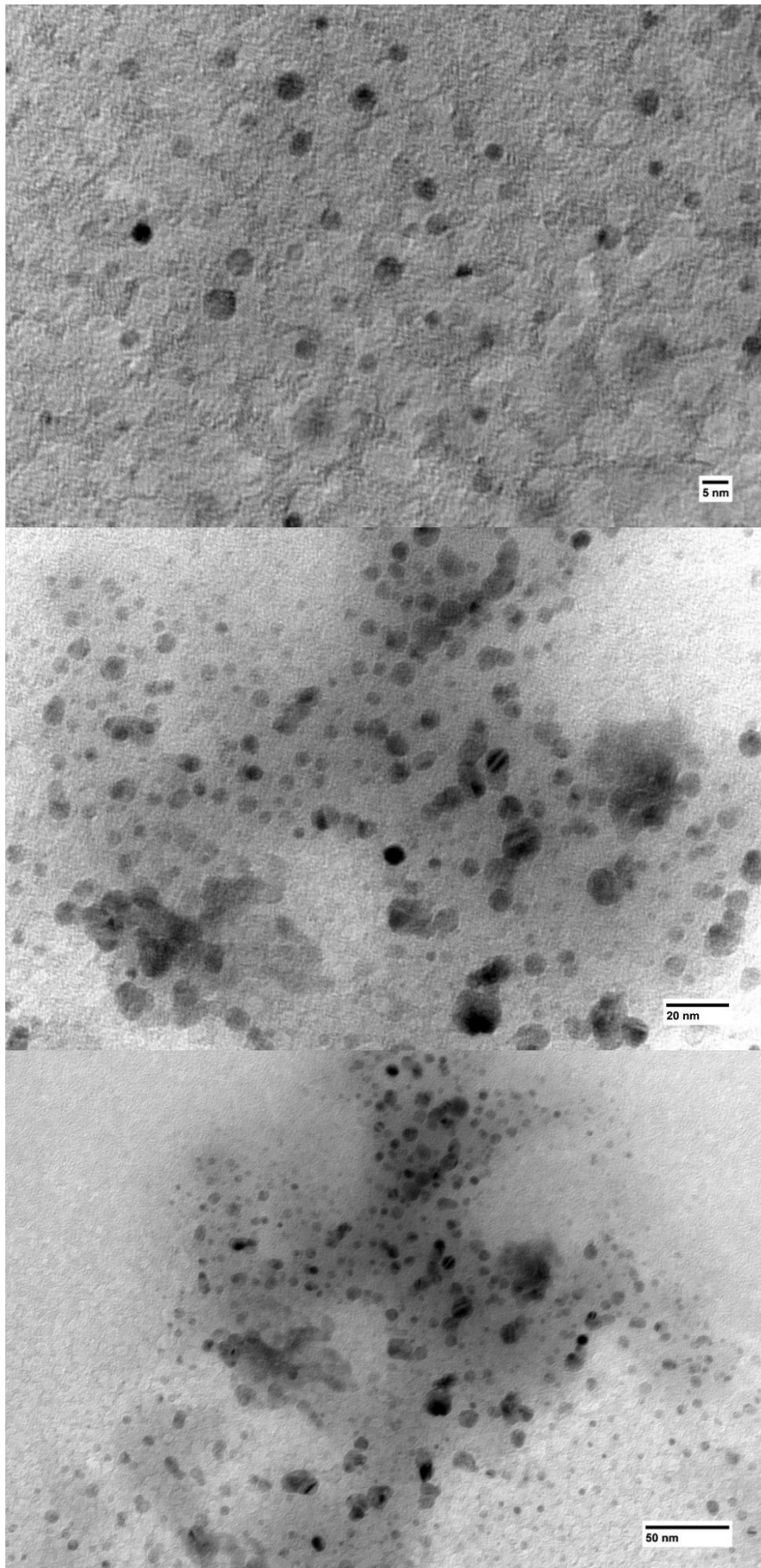
ν = vibração de deformação axial.

Fonte: própria (2023).

4.6 MICROSCOPIA DE TRANSMISSÃO

Somada às outras análises, foi possível realizar somente uma análise de microscopia das amostras. A amostra escolhida foi sintetizada por reação hidrotermal por apresentar maior absorvância. A MET exhibe, nas micrografias capturadas ilustradas na Figura 36, que há presença de aglomerados de pontos de formatos globulares na amostra, com 24 horas de secagem, com tamanhos próximos a 5 nm.

Figura 36: Micrografias capturadas por MET da amostra C1RH.



Fonte: Própria (2023).

5 CONCLUSÃO

A cinética de secagem na obtenção de pontos de carbono a partir da casca da banana prata (*Musa acuminata Cavendish*) demonstrou importância tanto na utilização deste resíduo quanto nas propriedades apresentadas pelo nanomaterial.

Após processos de obtenção, separação e higienização, a casca passou para o procedimento de secagem. Analisando as curvas de cinética, verificou-se que o material possui aproximadamente 88% de umidade, concordando com a literatura. Para 6 horas de secagem, o segundo período da taxa decrescente da curva se fez presente em 120 minutos. Para 12 horas, se fez em 180 minutos. E, por último, para 24 horas, 240 minutos.

A padronização das amostras pré-obtenção dos pontos de carbono foi feita mediante controle granulométrico utilizando peneira de mesh 48 e também inserindo cerca de 0,8 g de casca seca e moída em cada processo. Durante a etapa de filtração, percebeu-se que as amostras sintetizadas por carbonização por mufla apresentavam espumas, ao contrário das por via hidrotermal.

Notou-se que, após a comparação feita a olho nu, por meio de incidência de luzes LED e negra, as amostras obtidas por via hidrotermal progrediram para tons mais claros de forma sutil, porém as por carbonização, de forma brusca. Além disso, todas apresentaram fotoluminescência, característica específica de pontos de carbono.

Por fim, a espectroscopia de absorção indicou grande diferença entre as rotas de síntese, mas pequena quanto ao tempo de secagem. A de emissão apontou tanto deslocamento da curva de emissão quando incididas por diferentes comprimentos de onda de excitação, outra característica de pontos de carbono, quanto a influência direta que a secagem teve na intensidade de emissão de fluorescência. A de infravermelho por transformada de Fourier revelou curvas sobrepostas entre amostras de diferentes rotas de síntese e tempos de secagem, o que leva a concluir que possuem grupos funcionais semelhantes aderido às suas superfícies. E a microscopia eletrônica de transmissão exibiu pontos esféricos em escalas próximas a 5 nm, o que condiz com a morfologia dos pontos de carbono.

6 PERSPECTIVAS

A secagem é uma operação que pode ser influenciada por diversos fatores, tanto de forma positiva quanto não. As curvas de cinética de secagem podem ainda ter maior influência na obtenção de pontos de carbono, a partir da casca da banana prata, se otimizadas. Também, é possível realizar outras análises de caracterização para obtenção de resultados ainda mais robustos. Dito isto, sugere-se em trabalhos futuros:

- i. Realizar secagem em função de % de umidade presente no material;
- ii. Realizar obtenção dos pontos de carbonos de forma seguida à secagem para reduzir variações de massa;
- iii. Comparar pontos de carbono sintetizados a partir da casca da banana seca *versus* úmida;
- iv. Comparar pontos de carbono sintetizados a partir de diferentes granulometrias.
- v. Realizar de análises de potencial zeta, tempo de vida e rendimento quântico.

REFERÊNCIAS

- ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. 2021. [[Link](#)]
- CELESTINO, S. **Princípios de Secagem de Alimentos**. Embrapa Cerrados. Brasília, 2010. [[Link](#)]
- CORREA, P. et al. **Modelagem matemática para a descrição do processo de secagem do feijão (*Phaseolus vulgaris L.*) em camadas delgadas**. Revista Engenharia Agrícola. Volume 27, Número 2. Jaboticabal, 2007. [[Link](#)]
- CRUZ, M. **Utilização da casca de banana como bioissorvente**. Orientador: Dr. Antonio Alfaya. 2009. 67 f. Dissertação (Mestrado) – Química dos Recursos Naturais, Centro de Ciências exatas, Universidade Estadual de Londrina, 2009. [[Link](#)]
- DA SILVA, A. et al. **The role of magnetic nanomaterials in miniaturized sample preparation techniques**. In: HUSSAIN, C. Handbook on Miniaturization in Analytical Chemistry, 77-98. 2020. [[Link](#)]
- EMBRAPA. **Banana. Fitossanidade**. Embrapa Mandioca e Fruticultura (Cruz das Almas, BA). Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. [[Link](#)]
- FEITOSA, A. et al. **Caracterização Química de Amostras de Biocarvão de Casca de Banana e Bagaço de Laranja Carbonizados a 400 e 600°C**. Revista Virtual de Química. Volume 12, Número 4. 2020. [[Link](#)]
- GAO, X. et al. **Preparation of lysosomal targeted fluorescent carbon dots and its applications in multi-color cell imaging and information encryption**. Science direct: Optical Materials. Volume 131. 2022. [[Link](#)]
- GARCIA, D. et al. **A secagem de sementes**. Revista Ciência Rural. Volume 34, Número 2. Santa Maria, 2004. [[Link](#)]
- GONDIM, J. et al. **Composição centesimal e de minerais em cascas de frutas**. Ciência e Tecnologia de Alimentos. Volume 15, Número 4. 2005. [[Link](#)]
- HAMID, H. et al. **Characterization of raw and ripen of banana peel wastes and it's oils extraction using Soxhlet method**. International Journal of Applied Chemistry. Vol. 12, p. 1-5. 2016. [[Link](#)]
- KAFLE, B. **Introduction to nanomaterials and application of UV-Visible spectroscopy for their characterization**. In: KAFLE, B. Chemical Analysis and Material Characterization by Spectrophotometry. Dhulikhel: Elsevier, 2019. p. 171-198. [[Link](#)]

KHAN, M.; PERVEEN, B. **Transformation of agricultural wastes into sugar by *Trichoderma viride***. Journal of Pure and Applied Microbiology. Vol. 4, p. 103-108. 2010. [[Link](#)]

KLIMA NATURALI. **Banana (*Musa spp.*)**. Disponível em <http://www.klimanaturali.org/2011/03/banana-musa-musa-spp.html> Acesso em: 04 de outubro de 2022. [[Link](#)]

LIMA, S. **Síntese e caracterização de pontos de carbono para desenvolvimento de sensores para análise de águas contaminadas com compostos orgânicos**. Orientador: Marco Antônio Schiavon. Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação Multicêntrico em Química de Minas Gerais) – Universidade Federal de São João del-Rei, 2020. [[Link](#)]

MA, C. et al. **Highly efficient synthesis of N-doped carbon dots with excellent stability through pyrolysis method**. Journal of Materials Science: Chemical routes to materials. Vol. 54, 9372-9384. 2019. [[Link](#)]

MACHADO, C. et al. **Pontos Quânticos de Carbono: Síntese Química, Propriedades e Aplicações**. Revista Virtual de Química. Volume 7, Número 4. 2015. [[Link](#)]

MACHADO, T. **Síntese e caracterização de pontos quânticos de carbono e produção de nanocompósitos poliméricos fotoluminescentes**. Orientadora: Dra. Lara Lavelli. 2019. 65 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina, Blumenau, 2019. [[Link](#)]

MATSUURA, F.; COSTA, J; FOLEGATTI, M. **Marketing de Banana: Preferências do consumidor quanto aos atributos de qualidade dos frutos**. Revista Brasileira de Fruticultura. Volume 26, Número 1. São Paulo, 2004. [[Link](#)]

NEIS, M.; MACHADO, L. **Estudo das propriedades mecânicas e térmicas de compósitos de polipropileno com casca de banana**. Revista de Iniciação Científica da ULBRA: Engenharias. Número 13. Canoas, 2015. [[Link](#)]

NERIS, T. et al. **Avaliação físico-química da casca da banana (*Musa spp.*) in natura e desidratada em diferentes estágios de maturação**. Ciência e Sustentabilidade – CeS. Volume 4, Número 1. 2018. [[Link](#)]

OLIVEIRA, I. **Pontos quânticos de carbono: propriedades fotoluminescentes e aplicações | COLÓQUIOS USP**. 2022. 1 vídeo (74 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=EubG1cyXIP0> . Acesso em: 03 de outubro de 2022. [[Link](#)]

ORDOÑEZ, J. et al. **Tecnologia de alimentos: Vol. 1 – Componentes de Alimentos e Processos**. Editora Artmed. Porto Alegre, 2005. [[Link](#)]

PORTELLA, J. **Secagem de grãos**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001. [[Link](#)]

RODRIGUES, W.; MORAIS, A.; NOGUEIRA, A. **Síntese e caracterização de pontos de carbono para aplicação em células solares**. Química. XXVI Jornada de Jóvenes

Investigadores da Associação de Universidade Grupo Montevidéu (AUGM). Mendoza, Argentina, 2018. [\[Link\]](#)

SANTOS, C. et al. **Síntese e caracterização de pontos quânticos ambientalmente amigáveis, um meio simples de exemplificar e explorar aspectos da nanociência e nanotecnologia em cursos de graduação.** Química Nova, Volume 43, Número 6. 2020. [\[Link\]](#)

SENAR. **Banana: a cultura da banana.** Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. 2º edição. Brasília, 2011. [\[Link\]](#)

SIDHU, J.; ZAFAR, T. **Bioactive compounds in banana fruits and their health benefits.** Food Quality and Safety. Volume 2. Número 4. 2018. [\[Link\]](#)

SILVA, J.; AFONSO, A.; DONZELLES, S. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas.** Editora Aprenda Fácil. Viçosa, 2008. [\[Link\]](#)

SILVERSTEIN, R.; WEBSTER, F.; KIEMLE, D. **Spectrometric Identification of Organic Compounds.** Editora Wiley, 7º edição. Janeiro, 2005. [\[Link\]](#)

SOUZA, E. **Síntese hidrotermal de biochar derivado de cascas de banana prata (*Musa acuminata Cavendish*) para utilização em eletrodos de supercapacitor.** Orientador: Dr. Leandro Pocrifka. Dissertação (Mestrado) – Química, Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal do Amazonas, Laboratório de Eletroquímica e Energia, 2022. [\[Link\]](#)

VAZ, R. et al. **Preparação de pontos de carbono e sua caracterização óptica: um experimento para introduzir nanociência na graduação.** Química Nova, Volume 38, Número 10. 2015. [\[Link\]](#)

XU, X. et al. **Electrophoretic analysis and purification of fluorescent single-walled carbon nanotube fragments.** Journal of the American Chemical Society. 2004. [\[Link\]](#)

ZAINI, H. et al. **Banana peels as a bioactive ingredient and its potential application in the food industry.** Journal of Functional Foods. 2022. [\[Link\]](#)

APÊNDICES

Apêndice A – Umidade em base úmida das amostras.

Tempo (min)	Umidade em base úmida (%)								
	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
0	88	89	86	88	86	86	87	86	84
10	77	73	66	80	77	74	79	78	72
20	68	66	61	72	68	67	73	73	67
30	64	64	59	66	64	61	68	68	62
40	57	56	51	60	57	54	63	63	57
50	48	47	41	55	53	49	58	59	52
60	40	39	34	48	46	43	53	54	47
70	36	35	30	43	43	40	49	51	44
80	32	32	26	40	39	35	45	47	40
90	28	28	22	36	35	32	43	43	37
100	24	25	19	32	31	28	38	39	33
110	21	21	16	29	27	25	34	36	30
120	18	18	13	25	24	21	31	33	27
140	12	12	8	19	18	15	25	26	21
160	8	7	4	14	13	11	19	20	16
180	4	4	2	9	9	7	14	15	12
200	2	2	1	5	4	3	9	10	8
220	1	1	0	3	3	2	7	8	6
240	0	1	0	2	2	1	5	5	4
270	0	1	0	1	1	1	2	3	2
300	0	0	0	1	0	0	1	2	1
330	0	0	0	0	0	0	1	1	0
360	0	0	0	0	0	0	1	1	0
390				0	0	0	0	1	0
420				0	0	0	0	0	0
450				0	0	0	0	0	0
480				0	0	0	0	0	0

510		0	0	0	0	0	0
540		0	0	0	0	0	0
570		0	0	0	0	0	0
600		0	0	0	0	0	0
630		0	0	0	0	0	0
660		0	0	0	0	0	0
690		0	0	0	0	0	0
720		0	0	0	0	0	0
1440					0	0	0